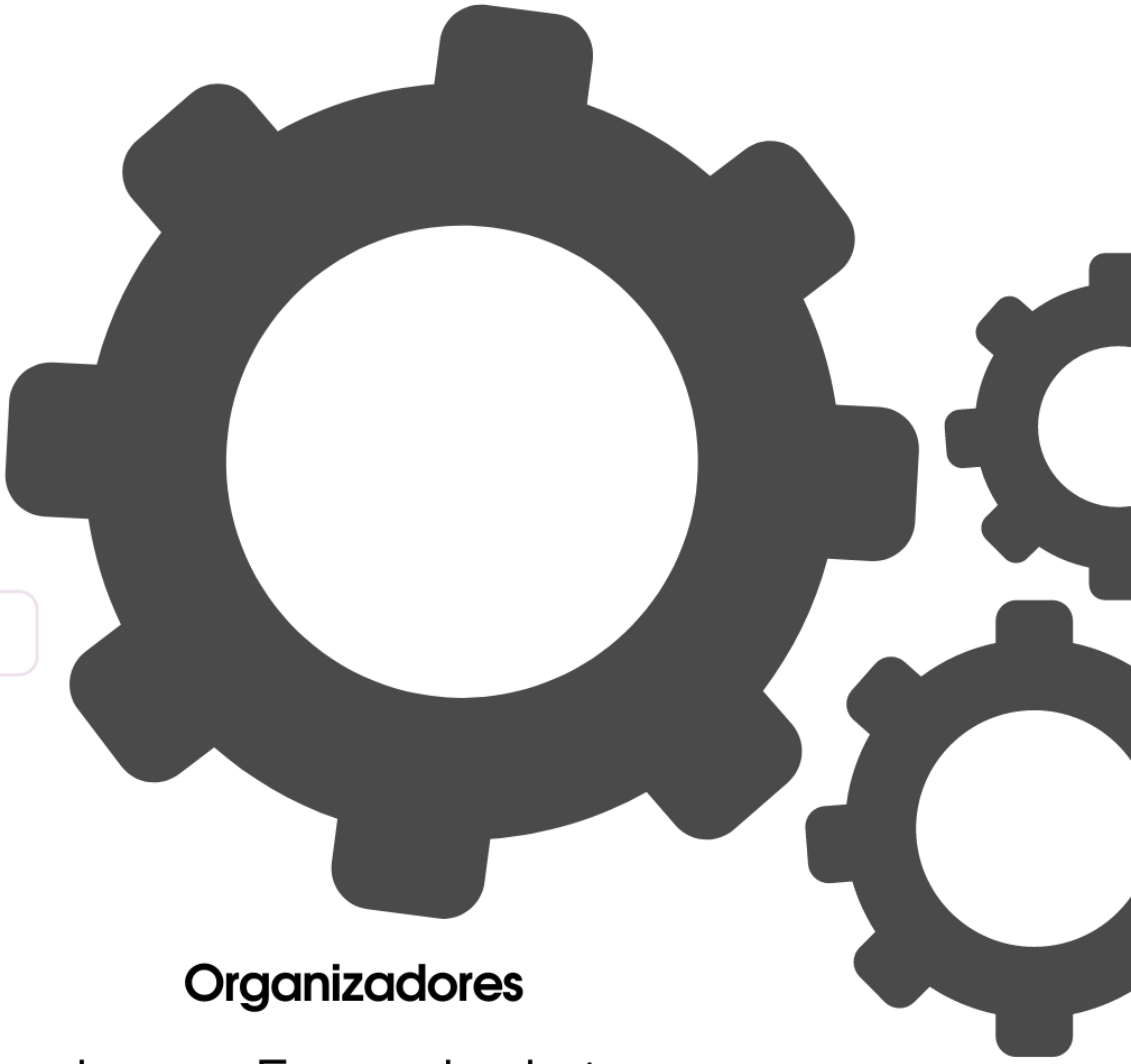
PRÁTICAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ENGENHARIA MECÂNICA

Maneira fácil de aprender



Organizadores

Jussara Fernandes Leite

Luciano José Vieira Franco

Editora Poisson

VOLUME 1

Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco
(Organizadores)

Práticas em Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica: Maneira fácil de aprender

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2023

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Adrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P912
Práticas em Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica: Maneira fácil de aprender - Volume 1/ Organização: Jussara Fernandes Leite; Luciano José Vieira Franco – Belo Horizonte - MG: Poisson, 2023

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-274-7
DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Gestão 2. Manutenção. I. LEITE, Jussara Fernandes II. FRANCO, Luciano José Vieira III. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

Organizadores

Jussara Fernandes Leite

Mestre em Administração pela Faculdade de Pedro Leopoldo, Bacharel em Administração de Empresa pela Faculdade de Administração de Curvelo, Licenciada em Matemática pelo Centro Universitário Claretiano de Batatais e Bacharel Engenharia de Produção pela Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barão de Cocais. Atualmente, é Coordenadora do Curso de Engenharia de Produção, Professora dos Cursos de Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica e Administração, Professora do Curso de Pós-graduação de Gestão da Manutenção Industrial e Mineração da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete (MG) e Professora do Curso de Engenharia de Produção da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barão de Cocais. Tem experiência profissional de 12 anos em empresas da área de reflorestamento e carvão vegetal, e de mineração; e possui mais de 17 anos de experiência na área de educação.

Luciano José Vieira Franco

Mestre em Educação e Sociedade pela Universidade Presidente Antônio Carlos. Graduado em Engenharia de Operação Mecânica pela Universidade Federal de São João Del-Rei, graduado em engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela FUMEC/FUNDACENTRO, Pós-graduado em Engenharia Econômica pela Fundação Don Cabral, Pós-graduado em Higiene Ocupacional pela Faculdade de Ciências Médicas BH. Atualmente é coordenador do Curso de Pós-graduação de Gestão da Manutenção Industrial e Mineração, coordenador e professor dos cursos de Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Coordenador e professor do curso de Engenharia de Produção da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barão de Cocais e consultor e prestador de serviços de empresas da área de mineração, transporte e indústria.

Agradecimentos

A partir de esforços de discentes, docentes e coordenadores dos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, surgiu esta obra: Práticas em Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica: maneira fácil de aprender. Desta forma, agradecimentos especiais são para esses autores, que não mediram esforços para fazer a ciência e aplicá-la nos mais diversos ambientes de trabalho de empresas da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais.

Agradecemos aos discentes pelo empenho e dedicação. Buscaram o conhecimento e aplicaram-no para desenvolver pesquisas científicas em sua área de atuação. Assim, constituíram a excelência das suas formações profissionais. Formação de qualidade que os levam a ter capacidade diferenciada para produzir conhecimento e atender às empresas.

Agradecemos aos docentes orientadores. Dedicaram grande parte do seu tempo para transferir ensinamentos aos discentes e orientações que os levaram à promoção da ciência.

Agradecemos aos docentes Grace Marisa Miranda de Paula, José Dimas de Arruda, Luciano Rodrigues dos Anjos e Bruno Silva Alencar pela contribuição dada ao desenvolvimento desta obra. Os trabalhos de vocês foram fundamentais na harmonização dos conteúdos.

Agradeço eu, Profª. Jussara Fernandes Leite, ao coordenador do Curso de Engenharia Mecânica, Prof. Luciano José Vieira Franco pela parceria na realização desta obra. Sem sua empolgação, trocas de ideias, orientações e trabalho, esta obra não teria sido elaborada.

Agradeço eu, Prof. Luciano José Vieira Franco, à coordenadora do Curso de Engenharia de Produção, Profª Jussara Fernandes Leite pela contínua caminhada em prol da pesquisa científica.

Agradecemos também a todos aqueles, que direta e indiretamente, contribuíram ao desenvolvimento das pesquisas apresentadas nesta obra. Estudos que levam ao saber acadêmico e formação profissional dos discentes dos Cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica.

Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco

Prefácio

A vontade e o querer levam ao fazer. E o fazer constrói conhecimento e desenvolve competências e habilidades nos discentes, para que se tornem Profissionais qualificados para atuarem em empresas. Discentes que fizeram e impulsionaram a elaboração desta obra.

Obra que apresenta em seus doze capítulos pesquisas científicas de discentes e docentes dos Cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica. São áreas distintas que se apoiaram para o desenvolvimento e aplicação da Ciência.

Ciência que se faz necessária para o desenvolvimento de empresas. Organizações que para se manterem competitivas no mercado necessitam de profissionais capacitados para resolverem problemas nos mais diversos processos organizacionais.

No mercado, discentes e docentes dos Cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete se fazem atuantes no atendimento de necessidades organizacionais, construindo e aplicando a ciência. E, isso é o que se pode apreciar ao realizar a leitura dos doze capítulos desta obra.

Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco

Apresentação

Esta obra apresenta em seus doze capítulos pesquisas científicas de discentes e docentes do curso de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. Sendo seis pesquisas de cada uma dessas áreas de conhecimento.

A manutenção em escavadeiras com a finalidade de aumentar a produtividade de uma mineração de minério de ferro foi o tema abordado no capítulo 1. A pesquisa mostra um estudo que viabilizou a vida útil de peças, redução de custo de manutenção e aumento da disponibilidade física do equipamento.

O segundo capítulo apresenta a pesquisa titulada de Manutenção em Usinas de Beneficiamento de Minério. Esse estudo aborda a implantação de telas auto-limpantes em um sistema de vibração individual dos fios, com o objetivo de minimizar as paradas não programadas no setor de peneiramento.

Manutenção Preventiva da Barra Equalizadora do Trator de Esteira Caterpillar D6T, é a pesquisa apresentada no Capítulo 3. Estudo teve como objetivo analisar e sanar as constantes quebras do componente barra equalizadora dos tratores de esteira de uma mineradora de minério de ferro.

No capítulo quatro, é apresentada a pesquisa denominada Análise da Influência da Dosagem de Reagente em Coluna de Flotação para o Aumento da Recuperação Metalúrgica. Estudo que mostra uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco em aumentar a recuperação metalúrgica e assim, melhorar o desempenho do processo de concentração.

Com o objetivo de identificar não conformidades no processo de dessulfuração e apresentar medidas para neutralizá-las, a pesquisa revelada no capítulo cinco foi desenvolvida. Estudo que foi realizado em uma siderúrgica e denominado de Análise do Processo de dessulfuração.

O Capítulo 6 apresenta a pesquisa denominada Análise de Desgaste na Tubulação de Minério de Ferro. Essa teve como objetivo de aumentar a confiabilidade e a disponibilidade das tubulações da alimentação das linhas de processo da CSN, procurando tecnologias para diferentes revestimentos em relação aos que já se tem aplicado, buscando um material com maior vida útil, custo competitivo e de fácil aquisição, que promovesse a redução das paradas de produção devido ao alto desgaste interno abrasivo.

Apresentação

Devido à necessidade de reduzir a falta de materiais para a execução de manutenção em vagões em uma empresa brasileira de logística e transporte ferroviário, a pesquisa científica apresentada no capítulo 7 foi produzida. Essa pesquisa foi titulada de Gestão de Recursos: Estudo para Eliminação de Falta de Materiais para manutenção de vagões.

O tema gestão de estoque com a aplicação da curva ABC é a abordagem do capítulo oito. A pesquisa buscou analisar o consumo e os valores financeiros de cada item de uma farmácia hospital e propor melhorias para a gestão de estoque.

Recuperação de Polo de Bateria Danificado é o título da pesquisa apresentada no capítulo nove. Essa pesquisa teve como objetivo verificar a viabilidade de se fazer a manutenção dos polos fundidos das baterias para que a mesma tenha sua vida útil prolongada.

O décimo capítulo demonstra através de comparações e dados, o aprimoramento da segurança veicular para carros de passeio brasileiros em relação aos internacionais, através da análise de Crash Tests. Esse capítulo é titulado de Segurança Veicular Através dos Crash Tests em Utilitários de Passeio.

A ergonomia e inovação é o tema do capítulo onze. A pesquisa tem com o propósito de apresentar um projeto de inovação utilizando um equipamento inovador (Exoesqueleto), que visa corrigir postura inadequada, excessos de peso em movimentações manuais de carga trazendo maior conforto para os trabalhadores. Um estudo que foi realizado em uma empresa de mineração de minério de ferro.

Por fim, o capítulo doze apresenta a pesquisa titulada de Conhecimento Sobre Descartes de Resíduos Eletroeletrônicos. Essa apresenta a partir de dados de uma amostra da população da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais o nível de conhecimento referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos.

SUMÁRIO

Capítulo 1: Manutenção em escavadeiras Komatsu PC 2000-8: Um estudo de caso para aumento de produtividade 11

Alexandre do Carmo Pinto, Luciano José Vieira Franco, José Dimas de Arruda, Fernando de Souza Santana, Jussara Fernandes Leite

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.01

Capítulo 2: Manutenção em usinas de beneficiamento de minério: Um estudo de caso no equipamento Peneira Vibratória Warrior - 2400 27

Arthur Junio Silva Cordeiro, Luciano José Vieira Franco, José Dimas de Arruda, Fernando de Souza Santana, Jussara Fernandes Leite

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.02

Capítulo 3: Manutenção preventiva da barra equalizadora do trator de esteira Caterpillar D6T 41

Bruno Luís Damas, Luciano José Vieira Franco, Jussara Fernandes Leite, Fernando de Souza Santana, José Dimas de Arruda

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.03

Capítulo 4: Análise da influência da dosagem de reagente em coluna de flotação para o aumento da recuperação metalúrgica 55

Júlio Cesar de Paiva Domiciano, Jussara Fernandes Leite, Luciano José Vieira Franco, Fernando de Souza Santana, Grace Marisa Miranda de Paula

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.04

Capítulo 5: Análise do processo de dessulfuração: Um estudo de caso para identificar as não conformidades e propor medidas de controle 70

Arthur da Silva Fernandes, Jussara Fernandes Leite, Luciano José Vieira Franco, Fernando de Souza Santana, Luciano Rodrigues do Anjos

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.05

Capítulo 6: Análise de desgaste na tubulação de minério de ferro: Aplicação de polímero para evitar o desgaste e vazamento em tubulações 82

José Dimas Arruda, Jussara Fernandes Leite, Luciano José Vieira Franco, Edgar Félix de Azevedo Santos, Luciano Rodrigues dos Anjos

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Gestão de recursos: Estudo para eliminação de falta de materiais para manutenção de vagões 98

Davidson Tadeu dos Santos, Jussara Fernandes Leite, Luciano José Vieira Franco, Fernando de Souza Santana, Luciano Rodrigues dos Anjos

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.07

Capítulo 8: Utilização da curva ABC no gerenciamento de estoque em farmácia hospitalar 112

Ana Cristina Corrêa Freitas, Luciano José Vieira Franco, Jussara Fernandes Leite, Fernando de Souza Santana, Bruno Silva Alencar

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.08

Capítulo 9: Recuperação de polo de bateria danificado: Análise de propriedades elétricas e mecânicas dos polos de bateria 121

Caio Lucas de Melo, José Dimas Arruda, Luciano José Vieira Franco, Mayara Rezende Carvalho, Bruno Silva Alencar

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.09

Capítulo 10: Segurança veicular através dos crash tests em utilitários de passeio: Estudo comparativo do avanço tecnológico no Brasil em relação ao mercado internacional 130

Anderson Lopes Ramalho Silva, José Dimas Arruda, Mayara Rezende Carvalho, Luciano José Vieira Franco, Jussara Fernandes Leite

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.10

Capítulo 11: Análise de dados ergonômicos e adaptação de projeto inovador Exoesqueleto 148

Matheus Flávio Andrade, Jussara Fernandes Leite, Luciano José Vieira Franco, Fernando de Souza Santana, Grace Marisa Miranda de Paula

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.11

Capítulo 12: Conhecimento sobre descartes de resíduos eletroeletrônicos 164

Vinícius Cruz Benjamin, Jussara Fernandes Leite, Fernando de Souza Santana, Grace Marisa Miranda de Paula, Bruno Silva Alencar

DOI: 10.36229/978-65-5866-274-7.CAP.12

Autores 181

Capítulo 1

Manutenção em escavadeiras Komatsu PC 2000-8: Um estudo de caso para aumento de produtividade

Alexandre do Carmo Pinto
Luciano José Vieira Franco
José Dimas de Arruda
Fernando de Souza Santana
Jussara Fernandes Leite

Resumo: As escavadeiras são um dos equipamentos de mineração mais utilizados pelas mineradoras no mundo. Eles também são um dos mais produtivos e importantes no processo de extração mineral. Com a uma alta capacidade de produção, qualquer parada dessas máquinas há um impacto considerável nas metas de produção de uma empresa. Nesse contexto, as empresas requerem atenção especial às manutenções. O presente trabalho teve como objetivo maximizar a utilização da ferramenta de penetração de solo ou FPS, elevando a sua vida útil. A ferramenta de penetração do solo é o componente de maior desgaste na escavadeira comparado com outros componentes e itens da máquina. Esse componente desgasta por estar em contato direto com solo e rochas estando em atrito constante com materiais abrasivos. Com dados coletados através dos sistemas, controles de manutenções e análise do perfil de desgaste da ponta da caçamba da escavadeira, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta com a adição de carboneto de tungstênio como solução para aumentar a eficiência do ferramental elevando a sua vida útil e consequentemente reduzindo os custos operacionais, aumentando a produtividade da máquina. Como resultado após teste, depois de um ciclo de vida da nova ferramenta, o estudo mostra uma solução com ganhos expressivos, com uma redução no custo de manutenção em mais de R$300.000,00, redução no tempo de exposição diminuindo o risco de acidentes pessoal da tarefa e com o principal objetivo atingido com um aumento de 92% de vida útil do FPS representando um acréscimo de 393.120 t/a na movimentação da frota.

Palavra Chave: Escavadeira. Ferramenta de penetração do solo. Vida Útil. Carboneto de Tungstênio.

1. INTRODUÇÃO

A extração de minério de ferro é uma atividade econômica realizada por diversas empresas mineradoras, extraindo o minério de ferro para que este seja beneficiado, se tornando um produto de demanda nas siderúrgicas. Segundo Vale (2019), a extração de minério no Brasil contribui com quase 5% do PIB nacional, e é uma importante fonte de renda para muitas famílias brasileiras. Sabe-se também que a mineração é fundamental para o desenvolvimento do país. O Instituto Brasileiro de Mineração e Portal Técnico e Mineração (2018), afirma que a mineração contribui com milhares de empregos diretos e indiretos, oferecendo matéria prima para as indústrias, fazendo da atividade uma das principais fontes de criação de empregos.

Durante uma etapa do processo de extração do minério de ferro, são utilizadas escavadeiras hidráulicas de grande porte para a atividade de escavação e carregamento. As escavadeiras são máquinas extremamente robustas e responsáveis por movimentarem toneladas/horas de material, seja durante o carregamento de caminhões fora de estrada ou durante a atividade de escavação. Desta forma, tais equipamentos são vistos como de grande importância na atividade de mineração e por isso é de extrema importância garantir o bom funcionamento desses equipamentos, principalmente através da manutenção correta de seus componentes. Para garantir a alta produtividade do equipamento, o ideal é usar uma ferramenta de alta penetração, com ponta bastante afiada. O perfil de trabalho normalmente enfrentado por essas máquinas é de médio a alto impacto, com forte abrasão, sendo necessário grande poder de penetração e desagregação.

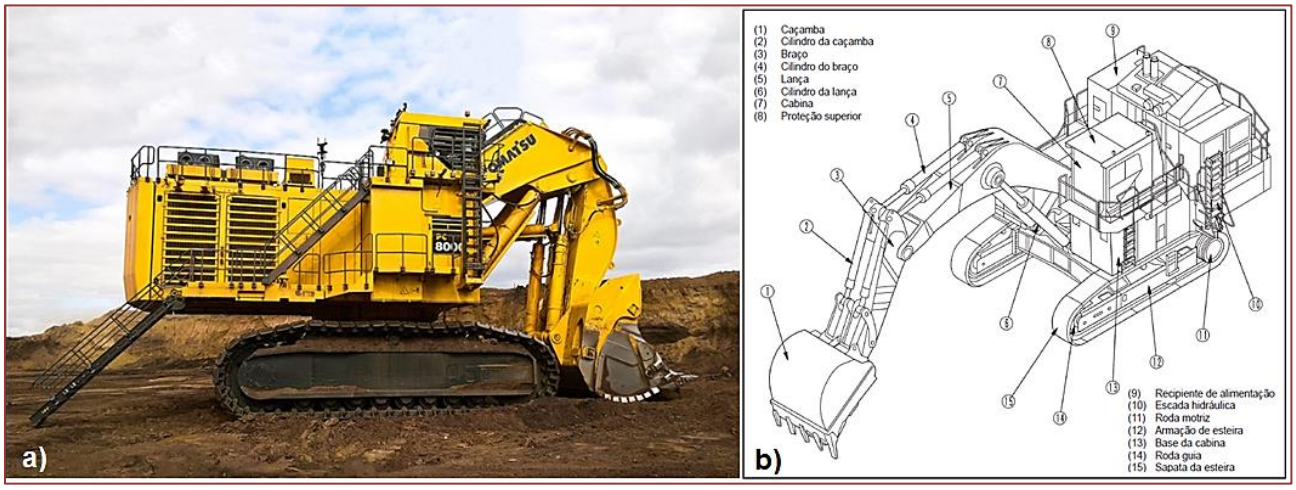
Segundo Barringer (1997), a distribuição estatística de Weibull é uma técnica concebida pelo físico sueco Waloddi Weibull na década de 1940, e consiste na realização de coletar amostras de falhas em objetos para realizar a plotagem de uma distribuição de probabilidade contínua, possibilitando a determinação de intervalos de confiabilidade em componentes, determinando seu tempo de vida médio e a taxa de falhas em função do tempo acumulado de operação. Dentro deste contexto, este trabalho consiste na realização um estudo de caso em uma frota de escavadeira em operação nas minas de uma grande mineradora do estado de Minas Gerais, com o objetivo de analisar todas as informações de desgaste, prematuros ou não, das pontas das caçambas das escavadeiras, e propor soluções para aumento de vida útil desse componente aumentando a sua confiabilidade e reduzindo o tempo de manutenção, de forma a elevar o número de horas trabalhadas de (FPS) Ferramenta de Penetração do Solo das escavadeiras de grande porte Komatsu PC 2000-8.

2. ESCAVADEIRAS

De acordo com Borges, Lacerda e Silva (2015), as escavadeiras são máquinas destinadas às atividades de escavação ou carregamento que requerem uma movimentação de grande quantidade de material. Portanto, são de suma importância para a movimentação de minério de ferro nas minas a céu aberto, visto que reúnem as características necessárias para satisfazer o processo, sendo máquinas robustas projetadas para suportar a grande quantidade de horas ininterruptas de trabalho com confiabilidade. Existem diversos modelos de diferentes capacidades, podendo variar seu peso operacional de 13 toneladas como as utilizadas geralmente em construção civil e as de 800 toneladas utilizadas na mineração. A Figura 1a apresenta um modelo clássico de escavadeira, utilizado comumente nas atividades das grandes mineradoras pelo mundo.

Existem no mercado diversos tipos de escavadeiras, como escavadeiras a diesel e sistema de trabalho hidráulico, escavadeira elétrica, escavadeira com sistema de implemento a cabos, pois para cada tipo de necessidade e operação haverá uma configuração especifica de máquina. Na Figura 1b tem-se uma estrutura e periféricos que basicamente compõe uma escavadeira de grande porte como as utilizadas na mineração.

Figura 1 – a) Escavadeira grande porte; b) Visão geral dos componentes da escavadeira.



Fonte: Komatsu (2012).

2.1. FERRAMENTAS DE PENETRAÇÃO NO SOLO (FPS)

Um dos elementos de maior desgaste nos equipamentos de construção e mineração são os FPS. As ferramentas de penetração no solo são dentes ou pontas lâminas de canto, que são utilizadas numa vasta gama de equipamentos como trator de esteira, trator de pneu, escavadeira, carregadeira e motoniveladora. Segundo a Komatsu (2020), o desempenho e a produtividade das operações de escavação e carregamento estão diretamente relacionados com as Ferramentas de Penetração de solo do seu equipamento. Devido à alta taxa de desgaste e a reposição constante desses itens, o FPS pode provocar ao longo do tempo um grande prejuízo para as empresas, mas é considerado essencial para garantir a alta produtividade e performance dos equipamentos. A Figura 2 mostra modelos de FPS utilizados em escavadeiras e carregadeiras.

Figura 2 - Ponta de escavadeira CAT 336D.

Fonte: Torque (2020) e Mtractor (2018)

Uma forma de aumentar a vida útil dessas ferramentas é aplicando revê, imento. O metal duro Carboneto de Tungstênio já vem assumindo um protagonismo cada vez maior no setor mecânico e industrial. Na Europa, por exemplo, Watermellon, (2017) relata que os componentes sinterizados são aplicados, sobretudo em peças nos setores mecânico e automotivo. Isso porque 35% das peças são usadas nos motores, 21% na transmissão de veículos, 14% no chassi e os 25% restantes nas diversas modalidades de acessórios, sempre relacionados aos motores. Contudo, é importante entender o que os componentes em carboneto de tungstênio representam para o setor mecânico, uma vez que ele melhora a produtividade das aplicações para o corte de metal e para os equipamentos do setor de mineração, engenharia civil, agricultura, produção de alimentos, setor têxtil, dentre diversos outros segmentos. No processo industrial, o carboneto de tungstênio é misturado ao cobalto na forma de pó. Quando a mistura é aquecida durante a sintetização, o cobalto funde e enche os espaços entre as partículas de carboneto de tungstênio (as quais praticamente não são afetadas pelo calor). Uma vez resfriado, o cobalto age como ligante formando no final as peças em carboneto sintetizado. Valsider (2009) comenta que as peças e componentes que contam com o revestimento desse material obtêm grande resistência, pois a resistência do carboneto de tungstênio é consideravelmente superior à de qualquer material que tenha recebido um tratamento térmico superficial. Portanto, o carboneto de tungstênio é um material que possui basicamente o que se procura para utilizar como revestimento para a FPS.

2.2. MANUTENÇÃO E SUA CLASSIFICAÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5462 (1994), tem-se como conceito de manutenção o conjunto de ações técnicas e administrativas que tange como um todo o ramo e área industrial como um sistema único que destina manter ou recolocar um equipamento, instalação ou maquinário de um determinado setor em funcionamento, através de intervenções corretas e oportunas. Para Kardec e Nascif (2009) e Xenos (1998), a manutenção é o ato de manter ou mesmo garantir a disponibilidade da função de um equipamento ou instalação, atendendo de maneira específica o processo de produção, bem como preservando o meio ambiente, sendo uma combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão destinadas a manter ou realocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. São definições que giram

em torno da confiabilidade, segurança e usabilidade de custos adequados. Essas definições mostram o quanto é fundamental a manutenção para que possa garantir os processos produtivos de uma indústria ou equipamento. Para garantir a confiabilidade das máquinas mais robustas, como são as escavadeiras de grande porte, é necessário que siga rigorosamente os planos de manutenções.

Silveira (2019) ressalta que a manutenção pode ser dividida em quatro fases temporais; em que a primeira se inicia na década de 1930, com uma manutenção não sistematizada e sem uma gestão específica. As estratégias de manutenção nessa fase se resumiam à limpeza, lubrificação e à manutenção corretiva, quando as máquinas falhavam. A segunda fase inicia após a segunda guerra mundial, em que as empresas viram a necessidade de produzirem mais itens industrializados. Aliada à baixa oferta de mão-de-obra que existia naqueles anos, a indústria se viu em uma posição em que deveria melhorar a condição de suas máquinas e equipamentos, para que estes pudessem operar por mais horas sem interromperem o processo produtivo. A terceira fase se inicia a partir da década de 1970, em que as paradas de manutenção passaram a ter um custo mais alto, e o não cumprimento de contratos começou a afetar não só financeiramente as empresas, mas sua imagem. Com o aumento da automação, ocorreu um aumento dos números de falhas, afetando diretamente a qualidade dos produtos. O autor afirma ainda que para haver um melhor atendimento aos clientes, as companhias precisavam se certificar que os equipamentos iriam corresponder à sua expectativa de produção. A quarta fase surgiu com a necessidade de melhorar o processo que já estava implantado, com a importância dos indicadores de disponibilidade e confiabilidade, tendo como objetivo a diminuição de falhas prematuras. As manutenções preditivas passaram a ser cada vez mais frequentes nas empresas, diminuindo a probabilidade de uma quebra prematura e reduzindo o tempo das manutenções preventivas ou programada, com objetivo de reduzir o tempo de paradas das máquinas ou equipamentos.

Para Kardec & Nascif (2009), a manutenção pode ter a seguinte classificação: manutenção corretiva não planejada; manutenção corretiva planejada; manutenção preventiva; manutenção preditiva; manutenção detectiva. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5462 (1994) define a manutenção corretiva como aquela efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. É denominada manutenção corretiva não-planejada quando a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, ocasionando ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (OTANI & MACHADO, 2008). Nessa mesma linha de pensamento, Cruz (2019) informa que quebras aleatórias podem ter consequências graves para o equipamento, comprometendo a qualidade de operação dos diversos componentes, sendo assim, equipamentos apresentam uma queda de desempenho a partir do número de intervenções para manutenção corretiva não planejada. A manutenção corretiva planejada ocorre quando apresenta falha, e por decisão do supervisor ou técnico da manutenção, opera até que a falha não interrompa a produção do equipamento e essa possa esperar uma manutenção preventiva para que seja corrigida. Otani e Machado (2008) apontam que pelo seu próprio nome, o que é planejado tende a ficar mais barato, mais seguro e mais rápido.

Em relação à manutenção preventiva, é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5462

(1994), que essa tem como a intervenção de manutenção efetuada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos. As ações desse tipo de manutenção são realizadas de forma prévia, com a finalidade de evitar que os equipamentos falhem durante o processo de produção. Kardec & Nascif (2009) comentam essas informações ao apresentar que a manutenção preventiva é uma atuação que tem o objetivo de reduzir ou evitar as chances de falha e queda de desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos bem definidos de tempo. Xenos (1998) aborda o custo das manutenções afirmando que se for considerado o custo total, em várias situações, a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.

A manutenção preditiva tem por objetivo identificar falhas futuras através de análises de parâmetros pré-estabelecidos. Nesse tipo de manutenção é possível predizer a situação atual do equipamento e encontrar falhas em estágio inicial, quando ainda não são prejudiciais ao equipamento e/ou processo de produção. Dessa forma, é possível planejar recursos para que o tempo de parada seja reduzido, evitando assim desperdícios no processo (CRUZ, 2019). Kardec e Nascif (2009) esclarecem que seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível, privilegiando a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5462 (1994), informa que a manutenção preditiva é o tipo de manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

O termo manutenção detectiva vem da palavra “detectar” e começou a ser referenciado a partir da década de 1990. O objetivo desta é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, haja vista que é caracterizada pela intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas ocultas e não perceptíveis ao pessoal da operação. Há poucas diferenças entre a manutenção preditiva e detectiva, basicamente se dá pelo nível de automatização. Na manutenção preditiva, faz-se necessário o diagnóstico a partir da medição de parâmetros, na detectiva o diagnóstico é obtido de forma direta a partir do processamento das informações colhidas junto à planta (SOUZA, 2008). Todos esses tipos de manutenções são controlados pela Engenharia de Manutenção, que segundo Kardec e Nascif (2009) são o suporte técnico da manutenção. Pinto e Xavier (1999) e Viana (2009) afirmam que esta busca trabalhar com dados para análise e estuda as melhorias nos processos de manutenção e operação dos equipamentos, aplicando conhecimentos científicos e empíricos na solução de problemas, permitindo a melhoria e a evolução da manutenção de forma contínua através de estudos e atribuições.

Viana (2002) ressalta que tudo sofre desgaste, e na grande maioria dos equipamentos, vários itens são projetados com o propósito de se desgastarem em prol do bom funcionamento do conjunto. Para Macário (2018), as peças que apresentam “desgaste natural” são aquelas que, inevitavelmente, terão que ser trocadas em algum momento. Se não forem substituídas, podem danificar outros componentes e gerar danos maiores, aumentado o tempo de manutenção e os custos desse tipo de manutenção.

3. O ESTUDO DE CASO

O custo para manter toda uma atividade de exploração é muito alto, sendo necessária, a todo o momento, a busca por melhorias e desenvolvimento de novos produtos que possam contribuir para redução de custos. Para Teixeira (2016), a competitividade e a sobrevivência no mercado estão ligadas a capacidade de redução no custo de produção do minério. Para manter esse custo de exploração competitivo, a disponibilidade dos equipamentos de mina é parte essencial para alcançar os resultados. Como já dito, a manutenção em escavadeira é essencial para garantir a eficiência do processo como um todo. As paradas para manutenção impactam diretamente a capacidade de movimentação de carga que entra no processo de usina (beneficiamento e tratamento) e segue pela cadeia produtiva até o cliente final. Visando reduzir esses impactos, esse trabalho realiza um estudo para elevar o número de horas trabalhadas da Ferramenta de Penetração do Solo (FPS) utilizado nas escavadeiras de grande porte Komatsu PC 2000-8, destacando o custo de manutenção, com levantamento do histórico deste equipamento; as causas dos desgastes da ferramenta; e os impactos gerados no processo produtivo da empresa proveniente da baixa vida útil dessas pontas, para aumentar a vida útil das mesmas.

O estudo foi aplicado numa grande empresa de mineração situada no estado de Minas Gerais. Foi realizado junto à área de manutenção de escavadeiras de grande porte dessa empresa. A área é composta por equipes de manutenção preventiva, corretiva, PCM e Engenharia. O local de realização do estudo foi escolhido pelos fatores de facilidade de acesso à área, equipamento e dados, uma vez que um dos autores faz parte da equipe de pesquisa e desenvolvimento da melhoria. A coleta de dados inicialmente foi selecionada através de histórico de manutenção, vida útil dos componentes e custos operacionais e sistema de apropriação de paradas de equipamentos de mina. Na segunda fase de coleta foram utilizados manuais de manutenção do equipamento e do fabricante, procedimentos específicos de manutenção de FPS, artigos, monografias e sistemas informatizados de manutenção, dos quais foram retirados dados de manutenção. Por último foi utilizado técnica de coleta de dados através de testes operacionais reais em campo com o acompanhamento de uma equipe multidisciplinar, com o apoio do fabricante efetuando os registros de medições por meio de formulários padrão. Dessa forma, após análise dos dados obtidos através dos meios mencionados, foi possível ter um embasamento técnico e quantitativo para análise do problema e seus impactos, dando sequência no projeto de aumento de vida útil do FPS das escavadeiras.

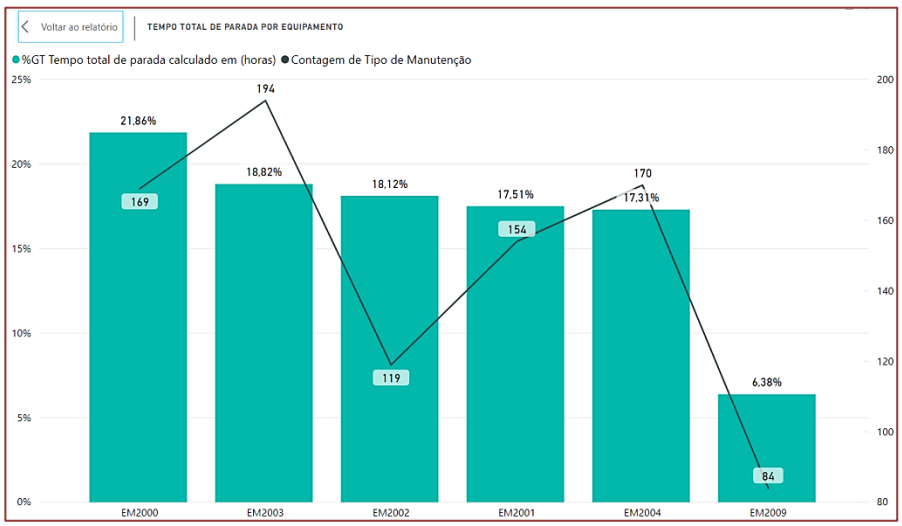
A Figura 3 mostra uma escavadeira hidráulica Komatsu PC2000-8, que possui um motor com potência igual a 976 HP; peso operacional de 204.120Kg; caçamba com capacidade de 13,7m^3; capacidade máxima de carga de 23.900Kg; dimensões para transporte em mm A x L x C, 7135 x 7490 x 17030, respectivamente.

Figura 3 - Escavadeira PC2000-8.

Fonte: Komatsu (2020)

Inicialmente foi analisado o perfil de perdas no período de 01/01/2019 à 15/12/2019 da frota de escavadeiras de grande porte Komatsu PC2000 que é composta por 6 máquinas de TAG's EM2000, EM2001, EM2002, EM2003, EM2004 e EM2009. Através desta análise puderam-se obter dados de impacto causado na disponibilidade física da frota, Gráfico 1, que somados os tempos de manutenções programadas e não programadas chegam a 20% de suas vidas, ou 8760 horas de manutenção em média no ano.

Gráfico 1 - Percentual de impacto na DF de cada escavadeira.

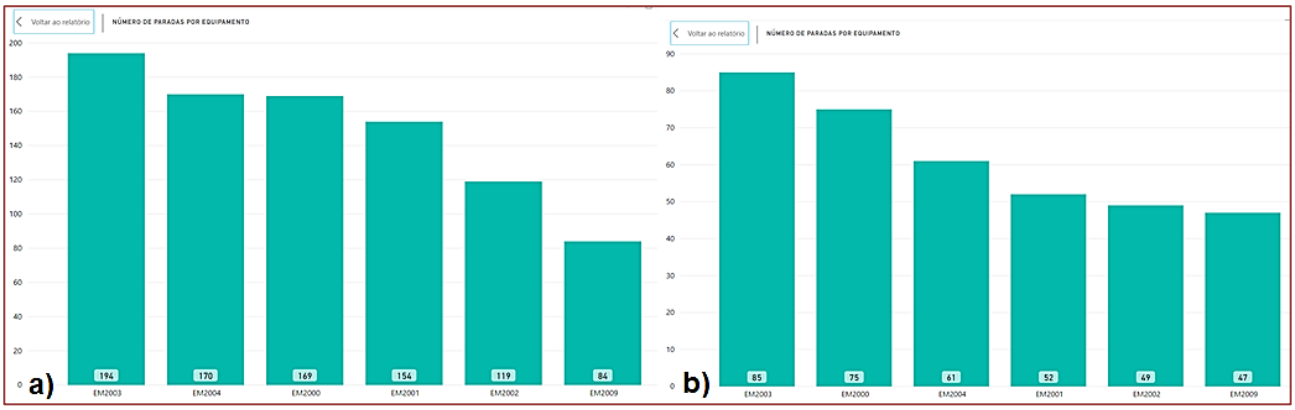


Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Analisando o perfil de perdas, tem-se o número de paradas no período de janeiro a dezembro de 2019. Essas paradas estão ligadas diretamente com a perda de produtividade do equipamento com o total de 890 paradas apropriadas no sistema de despacho da mina, média de 2,4 paradas pra manutenção por dia, Gráfico 2a. Analisando

os dados de impacto na confiabilidade da frota, a Gráfico 2b mostra o número de paradas para manutenções corretivas durante o ano de 2019, que em média, tem-se que pelo menos uma máquina falha por dia.

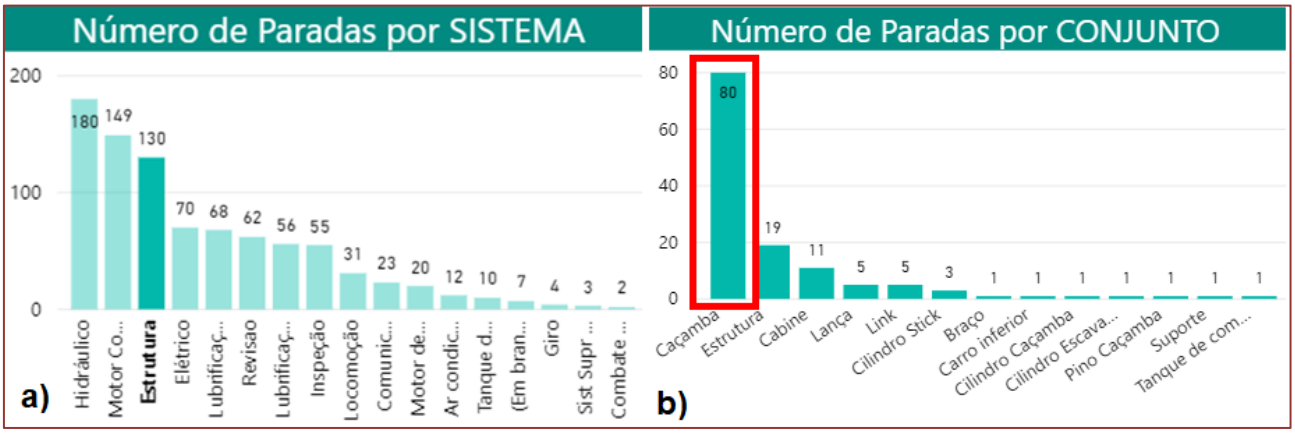
Gráfico 2 a) Número de paradas em 2019; 2b) Impacto MTBF.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Aprofundando no perfil de perda, foi extratificado o número de falhas por sistema e conjunto conforme mostrado no Gráfico 3. Após extratificação e análise dos eventos de manutenção, pode se observar pelos dados apresentados no Gráfico 3a, que com 130 paradas contabilizadas, o sistema de estrutura é o terceiro sistema que mais impacta em número de manutenção da frota. Descendo mais um nível do perfil referente a análise no sistema de estrutura, o Gráfico 3b apresenta dados mostrando que 80 paradas, ou mais de 61% dessas paradas, estão relacionadas a manutenções na caçamba da máquina. Observou-se um número alto de manutenções nas caçambas mesmo tendo como fato de que a caçamba é dotada de itens de desgaste, ou seja, itens que tem a vida útil condicionada ao tempo de utilização e outros fatores como tipo de material a ser escavado dentre outros.

Gráfico 3 a) Número de paradas por sistema; 3b) Número de paradas por conjunto.

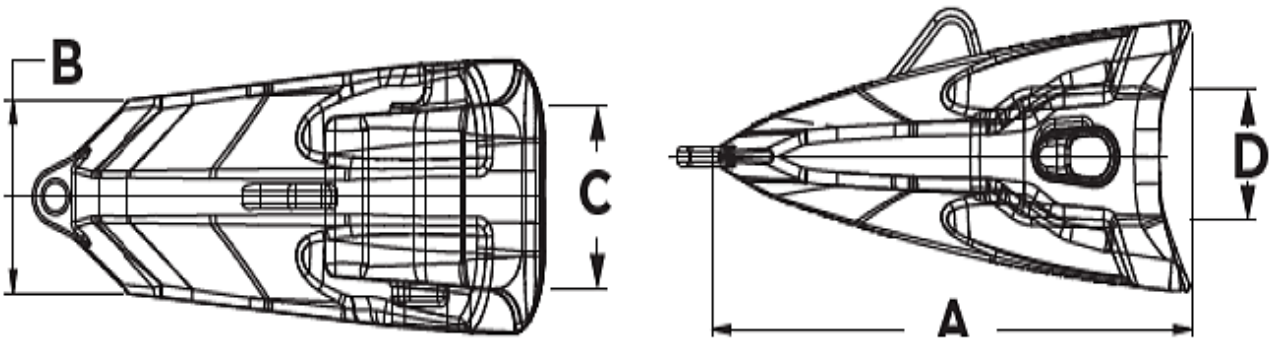


Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Para se manter competitiva no mercado, toda empresa precisa desenvolver novas tecnologias ou novos processos em sua área. Nesse caso, os itens de desgaste de maior relevância são as FPS, que representam o maior impacto, tanto em custo como em DF e MTBF na frota de esvavadeira, e o aumento da vida útil desse material desgastado é de extrema importância no processo desse estudo. Analisando o controle de substituições de pontas da escavadeira EM2002 no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2019, foi observado que houve uma grande diferença na vida útil das pontas, se comparadas as horas trabalhadas com o equipamento em operação na Mina 1 com a hora trabalhada na Mina 2. Com uma diferença média de 567 horas. A média de horas trabalhadas (HT) das pontas na operando na Mina 2 passou de 793 HT para 226 HT, o que representa um redução na vida util da FPS em mais de 350%.

A ponta original do equipamento, sem modificações, tem suas especificações e seu desenho técnico mostrados na Figura 4. Esta é uma ponta HEXS152RC, cujas dimensões são: 538mm de comprimento total, 184mm de largura total, e peso de 64,4 Kg.

Figura 4 – Desenho técnico, dimensões e peso da ponta HEXS152RC.



TEETH

Part Number	Pin Assembly	Dimensions								Weight	
		Overall Tooth				Tooth Pocket					
		A		B		C		D			
		"	mm	"	mm	"	mm	"	mm	lb	kg
XS152RC		21.2	538	6.6	169	6.6	168	7.2	184	142.0	64.4

Fonte: Hansley (2016)

Foram coletadas as pontas substituídas por fim de vida útil e observado que, principalmente as pontas HEXS152RC da PC2000 EM2002 estavam visivelmente sucateadas, com uma considerável massa disponível para desgaste. Durante análise pôde ser evidenciado que havia um perfil de desgaste não uniforme. Um fator contribuinte mas não o principal para explicar esse desgaste irregular é devido a equipe de manutenção de escavadeiras não realizar o giro das pontas conforme recomenda o fabricante. Uma ponta nova tem 20,9" (530mm), é recomendado o giro /rodizio quando a mesma atingir a medida de 16" (406mm) e devem ser substituidas nos limites entre 10" a 9" (254 – 228mm). O giro das pontas também é recomendado para que a FPS mantenha o seu nível de afiação, pois a vida útil da ferramenta também está relacionada com a sua afiação para capacidade de corte do material. A Figura 5 mostra as pontas removidas para descarte com o perfil de desgaste irregular, destacando o desgaste concentrado em um ponto

especifico de algumas pontas. Pôde-se observar que algumas pontas chegaram a furar em um ponto especifico de maior desgaste.

Figura 5 - Pontas PC2000 para descarte devido ao alto desgaste.

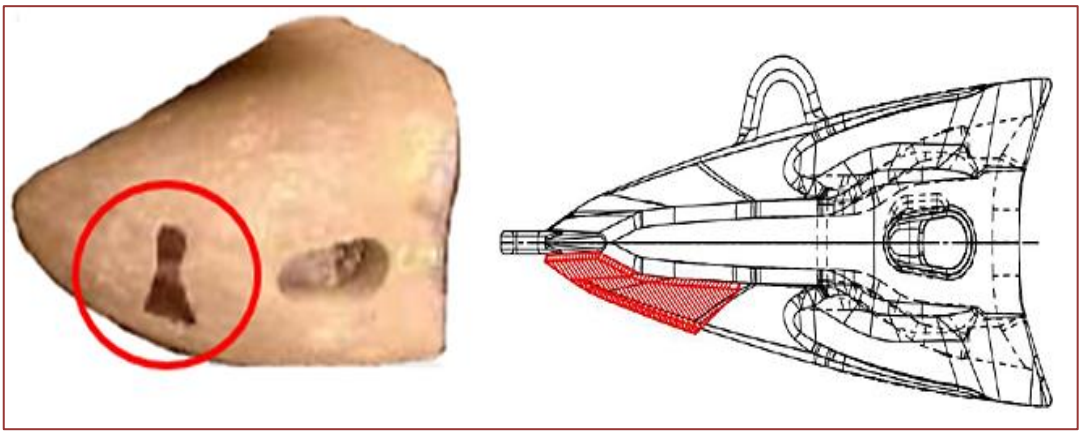
Fonte: Dados da pesquisa (2020)

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Foi realizado um levantamento com todos os fornecedores disponíveis para verificar a existência de uma ponta com uma construção diferenciada, a fim de melhorar a performance e durabilidade das pontas. Após levantamento de todas as pontas disponíveis nos contratos, foi constatada que a ponta de PN HEXS152RC, era a mais eficiente que dispunha.

Como não havia no mercado um produto que satisfizesse as necessidades de operação da mina, deu se início ao desenvolvimento de um novo produto específico que atendesse as condições da mina, com o foco em redução do número de paradas e redução do custo de manutenção. Foi realizada uma análise de desgaste em conjunto com as áreas de engenharia, manutenção, fabricante da máquina e fabricante da FPS. Baseado nesta análise pôde-se evidenciar que havia um desgaste anormal pontual em comum em todas as pontas na mesma região, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Localização desgaste irregular.

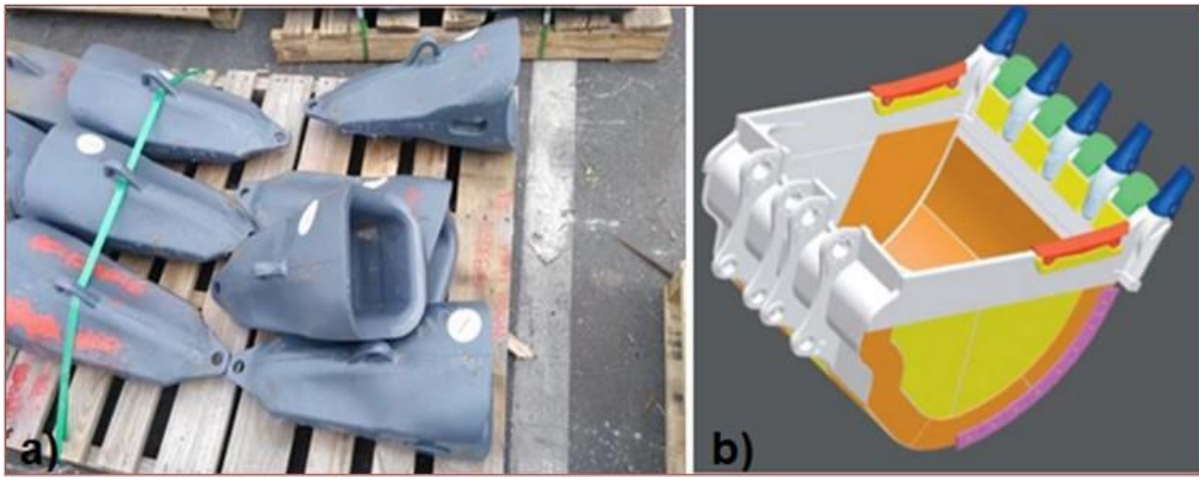


Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Por meio de pesquisas e estudos do modo de falha, características de mina e operação, foram levantadas as possíveis soluções para maximizar a utilização da FPS. Como primeira opção foi levantada a possibilidade de estar realizando o giro/rodizio conforme recomenda o manual do fabricante, para manter as pontas afiadas por mais tempo. Esta solução foi analisada e descartada pelo fato do tempo de parada para efetuar o rodizio. Em média a manutenção iria ocorrer a cada 114 HT o que acarretaria um impacto muito grande na produção, levando em conta que a média do tempo de máquina parada é de aproximadamente 02h20 para realizar a atividade. Dessa forma foi proposto melhorias no produto atual e chegou-se à conclusão de criar um revestimento com carboneto de tungstênio na região mais afetada da ponta e submeter o equipamento a testes práticos.

O teste foi realizado na Mina 2 onde se obteve a menor média de HT até atingimento de final de vida útil das pontas da escavadeira. Após a engenharia de materiais do fabricante fornecer o jogo de FPS já com a adição do carboneto de tungstênio na região especificada, as pontas foram aplicadas na escavadeira Komatsu PC2000-8 TAG EM2002 para teste. A Figura 7a mostra as pontas modificadas com a aplicação do carboneto de tungstênio pronta para serem instaladas na PC2000; e Figura 7b mostra o desenho esquemático da posição que as pontas são colocadas na caçamba de modelo XS152. Os testes tiveram início no dia 18/12/2019, data de instalação das pontas na máquina.

Figura 7 a) Pontas revestidas carboneto de tungstênio; 7b)Localização da ponta na caçamba.



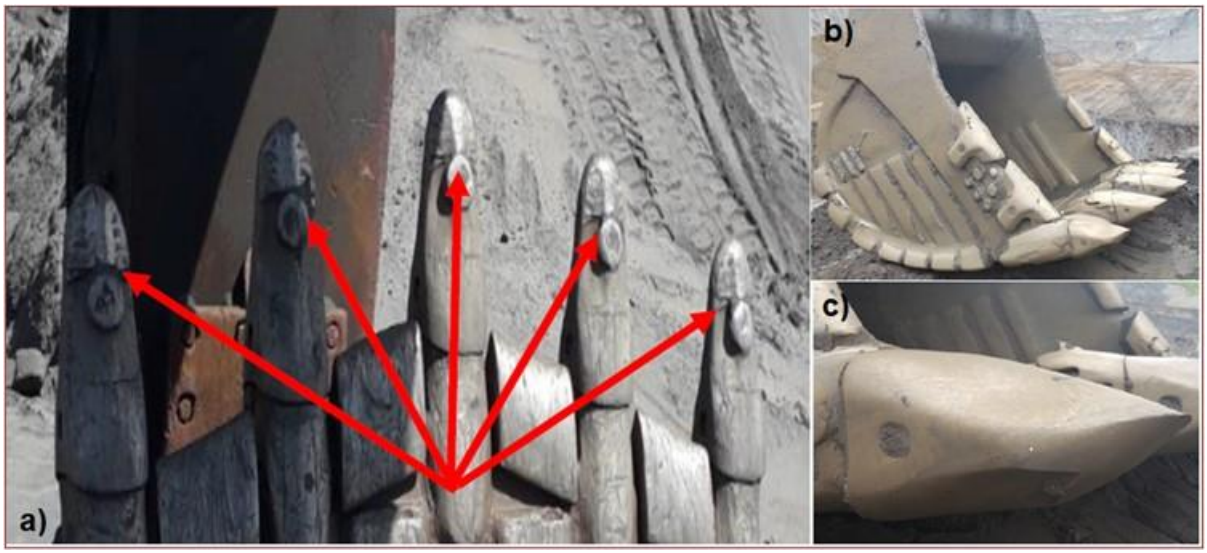
Fonte: Dados da pesquisa (2020)

O acompanhamento de operação da máquina ocorreu semanalmente, e foi realizado em conjunto pelas equipes de engenharia e manutenção da mineradora e equipes do fabricante da máquina. No acompanhamento eram verificados os níveis de desgaste, afiação da ferramenta e atividade de operação em que a máquina estava submetida. Para garantir um resultado mais assertivo foi feito um cronograma de operação para máquina garantindo que a mesma não fosse desviada para nenhuma frente de serviço que não estivesse dentro da Mina 2 devido as diferenças de materiais

trabalhados em cada mina, pois a abrasividade do Itabirito compacto da Mina 2 era característico desse estudo.

A primeira inspeção nas pontas revestidas com carboneto de tungstênio ocorreu após 120 HT, e o resultado para o momento apresentou-se satisfatório com as pontas mantendo um desgaste uniforme conforme mostrado na Figura 8a. A segunda inspeção foi realizada com 320 HT, o desgaste permaneceu regular e a ponta com a afiação correta, Figura 8b. Com esses fatos, foi observado que para a ponta com o revestimento não era necessária realização do giro conforme procedimento do manual. A Figura 8c mostra o detalhe do nível de afiação da ponta, mantendo o ângulo da ferramenta perfeito para o corte do material de Mina, não sendo necessário o giro das pontas. Após 66 dias e 435 HT, as pontas revestidas com carboneto de tungstênio chegaram ao limite de desgaste sendo necessário à sua substituição.

Figura 8 a) Pontas com desgaste uniforme após 120HT; 8b) Visão das pontas após 320 HT; 8c) Detalhe ponta afiada.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Após finalização do teste tem-se como resultado um aumento na vida útil das pontas revestidas com carboneto de tungstênio de aproximadamente 92,5% ou 209 horas trabalhadas a mais do que as pontas HEXS152RC sem revestimento, sendo importante considerar que tal resultado foi alcançado sem a necessidade de se realizar o rodizio/giro das pontas, pois a afiação se manteve adequada até o fim do ciclo de vida da FPS. Além disso, as pontas HEXS152RC eram removidas em média com aproximadamente 33kg, as novas pontas revestidas foram removidas com uma massa média de 27,4kg. Isto mostra que houve um desgaste mais uniforme nas pontas, proporcionando um maior ganho de massa durante o período de trabalho das mesmas. O aproveitamento médio de utilização de massa de aço das pontas revestidas foi de 61%, ante a média histórica com 49% das pontas originais HEXS152RC, um aumento de 12% na utilização do aço disponível para desgaste.

Quanto à produtividade pode-se destacar que o aumento de 209 HT na vida útil da FPS, representou um aumento da disponibilidade física em torno de 25,2 horas por ano. Com base na análise do histórico de produção da frota Komatsu PC2000-8, a taxa de

escavação chegou a 2.500 t/h no estéreo, 2.400 t/h no minério, 2.500 t/h no remanejo e 3.000 t/h no produto, mostrando que a frota tem uma capacidade média de 2600 t/h. Considerando o ganho na disponibilidade de 25,2 horas, o ganho em produtividade é de aproximadamente 65.520 t/a. O aumento de produtividade pode ser ainda mais expressivo pelo fato de que a mina em estudo possui mais 5 equipamentos similares, projetando um aumento na movimentação de massa de 393.120 t/a.

As pontas revestidas também se mostraram mais competitivas financeiramente. O custo de uma ponta original HEXS152RC é de R$ 3.758,00 a unidade, para as pontas utilizadas em teste foi realizado os cálculos pelo fabricante do produto no qual o valor estabelecido para inclusão da nova ponta com código AHNXS152RC-669C em contrato é de R$ 6.517,90 a unidade. Porém quando se analisa a hora trabalhada das novas pontas há um ganho financeiro de 10%, devido ao ganho quanto a sua durabilidade. No ano de 2019, conforme os dados retirados do sistema de manutenção da empresa, somente na escavadeira EM2002 foram executadas 20 ordens de manutenção referentes a troca do conjunto de pontas, com o custo de cada OM (ordem de manutenção) em R$ 21.758,91, tendo um valor total no ano em aproximadamente de R$ 435,178,20 em cada um dos seis equipamentos. Com base nesses valores tem-se uma redução de custo estimada em R$ 304.624,00 para a frota Komatsu PC2000-8 a cada 6000 HT. É importante ressaltar que na relação dos custos e economias estimadas mencionados nesse estudo não foram levados em conta os custos indiretos oriundos da natureza dessa manutenção como frete, custo com equipamentos auxiliares, custo de mão de obra e contabilização dos lucros cessantes.

Além do aumento de produtividade e redução dos custos das operações, as grandes empresas têm como pilar para sustentação dos seus resultados a segurança pessoal nas operações. A extração do minério de ferro é classificada como grau de risco 4 (o maior possível) pela relação de classificação nacional de atividades econômicas – CNAE. No que diz respeito à segurança, tem-se como resultado positivo a diminuição do número de manutenções no equipamento, pois assim diminui a exposição dos mantenedores ao risco da atividade. A atividade de substituição das pontas, apesar de ser de rotina, é altamente perigosa, principalmente por se tratar de um equipamento com dimensões e peso extremamente altos, não sendo possível o deslocamento ou a remoção desses equipamentos para uma oficina. Sendo assim, toda manutenção é realizada na mina, onde os recursos são limitados, elevando o risco de acidentes durante as manutenções.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse estudo de caso, pôde-se concluir que os resultados obtidos em teste com a operação da escavadeira Komatsu PC2000-8 utilizando pontas revestidas com carboneto de tungstênio, com objetivo de elevar a vida útil do FPS, foi extremamente satisfatório. A FPS AHNXS152RC-669C elevou a vida útil estimada da ferramenta em aproximadamente 92%, e se manteve afiada durante todo ciclo de vida da ferramenta, descartando a necessidade de giro / rodizio.

Quanto à produtividade, considerando o cenário atual de operação tem-se a estimativa de aumento na movimentação de massa da frota PC2000-8 de aproximadamente 393.120 t/a devido o aumento da disponibilidade física do equipamento proporcionado pelo menor tempo de manutenção no equipamento.

Financeiramente, sem levar em conta o lucro cessante e custos adicionais provenientes da manutenção deste item, pôde-se orçar uma redução de custo de mais de 10%, ou seja, mais de R$ 300.000,00 por ano.

Apesar de não eliminar a atividade de manutenção da FPS, foi obtido um ganho muito expressivo em termos de segurança com uma diminuição de 52% no tempo de exposição de pessoas ao risco da tarefa.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e mantenabilidade. Rio de Janeiro, 1994.

[2] BARRINGER, P. Pipe Wall Thickness Decisions Using Weibull Analysis, in Equipment Inspection For Mechanical Integrity, McNeese State University, Lake Charles, LA, 1997

[3] BORGES, O. T.; LACERDA, D.; SILVA, R. A. P. Critérios de Seleção e Principais Equipamentos Utilizados na Lavra a Céu Aberto. 2015 Disponível em: http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a179.pdf. Acesso em: 26 mar. 2020.

[4] CRUZ, Marcio de Oliveira. Análise e Determinação de Indicadores de Confiabilidade de Componentes do Trem de Força de Caminhões Fora de Estrada. 2019. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2019.

[5] HANSLEY, Construction & Mining G.E.T., Cutting Edges & Attachments. Dallas, 2016.

[6] INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERÇÃO E PORTAL TÉCNICO E MINERAÇÃO. Qual a importância da mineração para a economia do país. 2018. Disponível em: https://institutominere.com.br/blog/qual-a-importancia-da-mineracao-para-a-economia. Acesso em: 04 mar. 2020.

[7] KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

[8] KOMATSU. Peças Genuínas Komatsu. 2020. Disponível em: https://www.komatsu.com.br/source/pecas.php. Acesso em: 13 mar. 2020.

[9] KOMATSU. Shop Manual PC2000-8. Alemanha: Komatsu, 2012.

[10] MACÁRIO, Igor. Veja o que é 'desgaste natural' das peças do carro. 2018. Disponível em: https://jornaldocarro.estadao.com.br/servicos/veja-o-que-e-desgaste-natural-das-pecas-do-carro/. Acesso em: 11 fev. 2020.

[11] MTRACTOR. Pontas/Dentes/Adaptadores. 2018. Disponível em: https://www.mtractor.com/pontas-dentes-unhas. Acesso em: 01 abr. 2020.

[12] OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

[13] PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. Manutenção: Função Estratégica. Rio de Janeiro, Qualitymark. 1999.

[14] SILVEIRA, Igor. O Que É Manutenção. 2019. Disponível em: http://oimelvin.com.br/o-que-e-manutencao/. Acesso em: 25 fev. 2020.

[15] SOUZA, J. B. Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. 2013

[16] TEIXEIRA, Lucas Augusto da Costa. Caracterização de payloads via telemetria. 2016. 83 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

[17] TORQUE, Grupo Hidrau. FPS GHT. 2020. Disponível em: https://www.grupoht.com.br/produtos/linha-completa-de-fps-ght-2/. Acesso em: 28 mar. 2020.

[18] VALE. Relatório de sustentabilidade. 2019. Disponível em: www.vale.com. Acesso em: 08 mar. 2020.

[19] VALSIDER. O CARBONETO DE TUNGSTÊNIO. 2009. Disponível em: http://www.valsider.com/pt/tungsten.php. Acesso em: 21 mar. 2020.

[20] VIANA, H. PCM. Planejamento e controle de manutenção. Rio de janeiro 2009.

[21] VIANA, Herbert Ricardo Garcia. PCM – Planejamento e controle da manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

[22] XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. Gerenciando a Manutenção Produtiva. – Minas Gerais: INDG Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

[23] WATERMELLON, Design. Mecânica. 2017. Disponível em: https://www.nashira-hm.it/pt-br/carboneto-de-tungstenio/. Acesso em: 18 mar. 2020.

Capítulo 2

Manutenção em usinas de beneficiamento de minério: Um estudo de caso no equipamento Peneira Vibratória Warrior - 2400

Arthur Junio Silva Cordeiro
Luciano José Vieira Franco
José Dimas de Arruda
Fernando de Souza Santana
Jussara Fernandes Leite

Resumo: Devido o cenário competitivo, as empresas mineradoras buscaram aperfeiçoar seus processos de forma a reduzir os custos de manutenção para, consequentemente, aumentar os lucros. Assim, o estudo foi elaborado em uma empresa mineradora de Minas Gerais que observou uma oportunidade de melhoria através da substituição das telas de aço carbono por auto-limpantes, tendo como objetivo: minimizar as paradas não programadas no setor de peneiramento no equipamento Warrior – 2400. Para verificar a eficiência deste novo modelo, foram comprados dois conjuntos de telas para testes nos seguintes cenários: o tempo de parada dedicado a limpeza de telas de aço carbono; e o tempo de paradas das telas auto-limpantes. Como resultado, durante a fase de adaptação houve uma redução de tempo dedicado a obstrução de 20,79%. Com as telas de aço carbono, foram gastos 116,1 minutos para desobstrução, durante 6 meses. Durante o mesmo período, utilizando telas auto-limpantes, o valor chegou a 91,96 minutos. Depois de algumas adequações no novo modelo, foi realizado um novo teste, e observado que nos três meses subsequentes não houve registros de paradas para limpeza, resultando em uma redução de 100% no tempo de desobstrução. Concluiu-se então, que apesar de apresentar custo maior que as telas tradicionais, o novo modelo se torna mais rentável, visto que o estudo possibilitou a redução em 100% do tempo de paradas para limpeza por obstrução. Esse fato proporcionou ainda mais um benefício em relação à segurança, pois, não havendo a necessidade de parar a planta para limpar as telas, o operador não precisa se expor ao risco de acidentes ao efetuar a atividade.

Palavra Chave: Telas auto-limpantes. Desobstrução. Tempo de parada não programada. Peneiras.

1. INTRODUÇÃO

Diante da grande demanda de minério de ferro no mundo torna-se necessário que as empresas melhorem cada vez mais seus processos e se mantenham competitivas, reduzindo os custos de manutenção e/ou de produção para aumentar os lucros. O processo de peneiramento é rudimentar, e serve para a separação de um material em duas ou mais partes, e devido sua capacidade acaba sendo um dos mais utilizados. No peneiramento industrial, eficiência é a avaliação do desempenho da operação de peneiramento em relação à separação granulométrica ideal. A eficiência de uma peneira é muito importante para os diversos processos industriais que são utilizados, buscando aperfeiçoar processos que visam melhor rendimento, produção e menor gasto e quanto melhor a manutenção menor o tempo gasto para a sua manutenibilidade (CARRISSO e CORREIA, 2004).

Dentre as atividades no beneficiamento de minério, o setor de peneiramento é o que mais exige da manutenção, em diversos componentes como longarinas, crivos, molas, motores, contra pesos, telas entre outros. Sendo assim, este estudo aborda a implantação das telas auto-limpantes que tem sistema de vibração individual dos fios, com o objetivo de minimizar as paradas não programadas no setor de peneiramento no equipamento Warrior – 2400.

2. MINERAÇÃO

O Brasil o país é um dos maiores produtores e exportadores de metais, materiais e minérios do mundo: 84% de tudo o que produz é exportado. Juntamente com o agronegócio, a mineração constitui-se um dos setores estratégicos para o equilíbrio da economia brasileira. No entanto, os minérios são exportados sem qualquer agregação de valor, e a maior parte do que é comercializado (67,1%) é uma única *commodity*, o minério de ferro (ANM, 2018). Uma produção que acontece em 3.354 minas, a grande maioria a céu aberto, de pequeno porte e para uma ampla gama de minerais não metálicos. Os investimentos estimados entre os anos de 2014 a 2018 são de 48 bilhões de euros, e a grande maioria é feita por empresas multinacionais. São várias as substâncias exploradas em território brasileiro. As principais delas, e o percentual de representatividade em relação ao resto do mundo, de acordo com DNPM (2014) são: Nióbio (97,6%); Grafita (43,3%); Tântalo (39,8%); Ferro (17,4%); Estanho (14,3%); e Níquel (10,5%).

A mineração é uma atividade caracterizada pelo aproveitamento de recursos naturais, suprindo a humanidade de insumos minerais na forma de matérias-primas, energia, cargas, inoculantes e de outras substâncias acessórias nos mais diversos processos industriais e construtivos (EEEP, 2019a). Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2003), a mineração é uma das atividades econômicas mais antigas e tradicionais do Brasil. A procura pelas jazidas e suas descobertas, foram sempre ligadas à história e ao desenvolvimento do Brasil. Com o passar dos séculos, as técnicas ficaram ultrapassadas, assim, evoluíram para ações empresariais aderentes às práticas de sustentabilidade, em que se aliam a responsabilidade social, preservação ambiental e os objetivos financeiros das operações minerárias. Conforme IBRAM (2015), os recursos minerais são expressivos e abrangem uma produção de 72 substâncias minerais, sendo 23 metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas. São 1.820 lavras garimpeiras; 830 complexos de água mineral; e 13.250 licenciamentos. A região sudeste do país tem uma maior concentração de diferentes jazidas mineral.

O método de lavra é nomeado como sendo a estratégia de extração do material. De acordo com Macêdo *et al* (2001) em uma análise econômica o método de lavra é muito importante, com a escolha feita do método de lavra já permite a operação a se desenvolver. O método de lavra a ser escolhido depende das características do minério a ser explorado, assim ponderando o teor e a distribuição do material em certo terreno. Com as divisas da mineralização, é possível conseguir várias reservas não homogênea em função do teor. O valor do produto e o custo de extração determinam a quantidade e o teor a ser lavrado. Quando o depósito possui um perfil irregular é necessário escolher um método flexível para permitir mudanças rápidas, de forma a possibilitar um resultando maior na recuperação do minério. Embora seja possível destacar alguns métodos de lavra, com certeza acham-se mais de trezentas variações. Os métodos apresentam limitações devido à disponibilidade dos equipamentos, além de considerar o parâmetro econômico; sendo assim, a grande maioria das minas aplica mais de um método de lavra. O método usado em determinado setor do deposito mineral é o que apresenta menor custo. Ao utilizar determinado método de lavra é preciso estabelecer o limite entre os trabalhos a céu aberto e subterrâneo, no qual os gastos de exploração da jazida sejam mínimos. Existem essencialmente duas situações possíveis na lavra da jazida: Lavra a céu Aberto e Lavra Subterrânea.

Segundo Girodo (2005) a definição de lavra a céu aberto é uma escavação da superfície do terreno com o objetivo de extrair e explorar minerais metálicos e não metálicos. Pequenas aberturas manuais superficiais e grandes escavações em elevadas profundidades são consideradas lavras a céu aberto. A lavra a céu aberto proporciona vasta flexibilidade na produção, tento a habilidade de se extrair 100% do minério existente; a extração é feita até o ponto onde a relação estéril/minério aumenta, ficando inviável. O planejamento da lavra a céu aberto deve ocorrer ao mesmo tempo com o seu estudo de viabilidade técnica-econômica. Quando a escala de produção estabelece o empreendimento mineral definitivo, os estudos sobre a lavra devem ser feitos detalhados para evitar erros futuros. O outro tipo de lavra é a subterrânea, definida como a exploração de uma jazida que se encontra a uma profundidade sem que precise ocorrer a remoção do material que está acima do minério (MACÊDO *et al*, 2001 e HARTMAN & MUTMANSKY, 2002). Para extrair o minério de interesse econômico que está embaixo da superfície é essencial efetuar várias atividades, mas Brown (2002) destaca que a exploração do minério através do método de lavra subterrânea se resume apenas em três grupos de atividades: desenvolvimento de acesso físico à região mineralizada (fase de elaboração das estruturas que são responsáveis para que a exploração ocorra); extração do minério da rocha encaixante (processo de execução da lavra precisamente), e; transporte do minério para instalações de beneficiamento na superfície (carregamento e transporte do minério lavrado para fora da mina). Nelson (2011) e Stephan (2011) esclarecem que a lavra subterrânea tem um valor mais alto, apresenta menor segurança comparada com a lavra a céu aberto, e é mais trabalhosa. A vantagem é que a quantidade de estéril extraída é menor.

2.1. BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO

Após ser extraído, o minério segue para o seu beneficiamento, de forma a fazer o tratamento de separação do aglomerado de minerais do minério de interesse. O elemento que oferece uma importância econômica é chamado minério, o que se encontra agregado ao minério é denominado como ganga, sendo este um mineral que não oferece valor econômico. O tratamento de minérios tem como objetivo realizar operações visando

alterar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a sua forma (LUZ e LINS, 2004).

Para melhor entendimento, segundo Sampaio e Tavares (2005), a norma NRM-18 cita que "entende-se por beneficiamento de minério o tratamento visando preparar granulometricamente, concentrar ou purificar minérios por métodos físicos ou químicos sem alteração da constituição química dos minerais".

Da Luz et. al. (2004) informam que durante o processamento do mineral tem-se a operação de peneiramento que constitui uma fase do tratamento de minérios, utilizada para a separação do minério em uma ou mais frações, com partículas de tamanhos distintos, estando estas limitadas, uma de forma superior e outra inferior. A classificação através do peneiramento consiste em separar partículas em diferentes frações de acordo com a granulometria, o processo pode acontecer a seco (sem utilização de água) ou a úmido (em que o processo é alimentado com polpa) (CARRISSO; CORREIA, 2004 e VALADÃO E ARAUJO, 2007).

No mercado há diferentes tipos de peneira, cada uma com suas características próprias. Os principais modelos são as peneiras fixas, rotativas, reciprocativas e vibratórias. Dentre os quatro tipos de peneiras citadas, apenas as peneiras vibratórias serão abordadas neste trabalho.

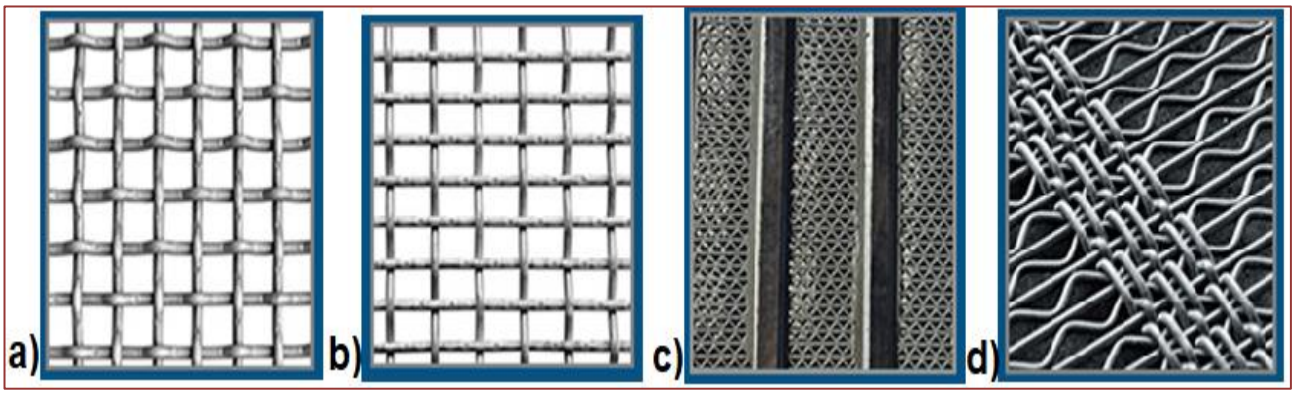
Em várias indústrias, como a de mineração, o método de peneirar não pode ser feito manualmente, pois demanda muito tempo, por isso é utilizada as peneiras vibratórias. As peneiras vibratórias são de grande relevância para diversos processos que ocorrem nas indústrias, estas separam o material através de movimentos circulares ou lineares que transportam o material de um lado para o outro (CARRISSO; CORREIA, 2004). De acordo com Milhomem (2013) as peneiras vibratórias são equipamentos elaborados, sua estrutura é bem robusta, denominada de caixa vibrante ou caixa de peneira. Elas tem apoios, que ocorrem sobre molas, composta por acionamento que são ativados pelo movimento vibratório, de superfície de peneiramento, a qual podem conter dois ou três suportes, conhecidos como *decks*. Impulsos rápidos caracterizam o movimento vibratório, normais à superfície, de pequena amplitude (1,5 a 25 mm) e de alta frequência (600 a 3.600 movimentos por minuto), sendo produzidos por mecanismos mecânicos ou elétricos (CARRISSO; CORREIA, 2004). As peneiras vibratórias inclinadas têm um ângulo que varia de 15° a 35°, e levam o material a uma velocidade que varia de 18 a 36 m/min dependendo da inclinação. As peneiras horizontais transportam o material a uma velocidade de mais ou menos 12 m/min (CHAVES e PERES, 2003).

Para que o material seja devidamente peneirado, são utilizadas as telas. Quando o material entra em contato com a tela é possível realizar a separação conforme granulometria. Há agitação do material, causado pela vibração da peneira que permite a sua passagem ou retenção, classificando-o conforme sua dimensão (BRASIL TELAS, 2019).

Há diversos tipos de telas, em que as principais são as telas de malha quadrada, retangular, auto-limpante e com revestimento de borracha. Segundo Brasil Telas (2019), as telas de malha quadrada (Figura 1a) é o tipo mais comum de ondulação. Têm seus dois lados ondulados, permitindo que o material permaneça mais tempo sobre a tela, isto é, em função dos pontos de obstáculos nos fios transversais, classificando melhor o material e consequentemente melhorando seu rendimento e exatidão granulométrica. As telas de malha retangular (Figura 1b) apresentam este formato para processar maior quantidade de material, quando comparadas às telas quadradas, que possuem menor área para

passagem. Isso se dá em função da abertura transversal superior a longitudinal, reduzindo as obstruções da malha, porém só se aplica nos casos em que os materiais tiverem formatos cilíndricos e esféricos. As telas com revestimento de borracha (Figura 1c) tem a finalidade de aumentar a integridade dos fios, observando coincidência do revestimento com as longarinas da peneira, aumentando assim a vida útil da tela. O revestimento de borracha pode ser utilizado nas telas auto-limpantes, seus travamentos são revestidos com a borracha de alta resistência a abrasão e impacto. Em casos de projetos especiais e a pedido do cliente, podendo também utilizar o travamento de borrachas nas telas de malha quadrada. As telas auto-limpantes (Figura 1d) são classificadas como telas especiais. Foram projetadas para dificultar a possibilidade de entupimento e obstrução das malhas. É constituída em formado triangular, compostas por fios lisos, ondulados e de travamento. Esse último é projetado de forma alternada.

Figura 1 – a) Tela de malha quadrada; b) Tela de malha retangular; c) Tela com revestimento de borracha; d) Tela de malha auto-limpante.



Fonte: Brasil Telas (2019)

Para manter o bom funcionamento das peneiras e suas telas, é necessário que se faça a manutenção das mesmas.

2.2. MANUTENÇÃO

Manutenção é o ato ou efeito de manter os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de equipamentos em geral, garantindo seu funcionamento e produção normalizados, prevenindo falhas e quebras dos elementos de máquinas (MIRSHAWKA, 1998 e EEEP, 2019b). Para Viana (2002), as manutenções são os tipos de forma como são realizados os atos nos equipamentos responsáveis pela produção em uma determinada planta de beneficiamento. Essas são divididas em: Manutenção Preventiva; Manutenção Preditiva; Manutenção Corretiva; e Engenharia de Manutenção. Desta classificação foi excluída a manutenção detectiva, por entender que se trata apenas de uma técnica utilizada para realizar a manutenção preditiva.

Manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT, 1994). É uma ação planejada e sistemática, com controle e monitoramento dos equipamentos, que é feita

periodicamente, com o objetivo de reduzir ou impedir falhas, mesmo antes do fim da sua vida útil, evitando que o equipamento pare de funcionar (EEEP, 2019b). Segundo Pinto e Xavier (2009), há algumas variáveis que devem ser observadas na seleção desse modelo de manutenção, como: a chance de não poder aplicar a manutenção preditiva, a segurança das pessoas e instalações devem ser redobradas, riscos de prejudicar o meio ambiente, entre outros. Essa apresenta suas desvantagens, como, por exemplo, poder introduzir nos equipamentos defeitos devido a falhas humanas, a má concepção dos trabalhos, a falha de tempos ou fases falhas de peças, e contaminações de óleo. Falhas na organização dos métodos, somados a problemas operacionais e erros de gerenciamento de estoques de peças são fatores que dificultam a promoção da manutenção preventiva. A Manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificações de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (PINTO e XAVIER, 2009). Segundo Drumond (2004), é àquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste. A manutenção preventiva é baseada nas condições do equipamento através de dados, que são obtidos a partir de monitoramento, análises e medições, assim desejando evitar que as peças danifiquem (EEEP, 2019b).

A manutenção corretiva é um dos tipos de manutenção mais empregada, é utilizado em empresas de pequena, média e grande porte, pois qualquer equipamento demanda de manutenções regulares. É usada quando o equipamento apresenta uma falha, ou seja, é uma manutenção que tem como objetivo corrigir a falha apresentada de imediato; seja ela mecânica, elétrica, entre outras (EEEP, 2019b). Segundo Pinto e Xavier (2009), é a ação de corrigir uma falha ou a atuação menor que o aguardado. É sensato usar a manutenção corretiva quando há equipamentos ou máquinas que tem um baixo custo de produção, onde a troca de peças sobressalentes requer menor custo que introduzir uma estratégia de manutenção nova. A manutenção corretiva é comumente usada em equipamentos onde uma manutenção programada provocaria perdas consideráveis de produção. Essa ocorre em dois casos: quando o equipamento está apresentando diversas falhas como quebras, desgastes entre outros; ou quando o equipamento não apresenta o rendimento esperado. A manutenção corretiva é subdividida em corretiva não planejada, quando acontece depois de uma falha ou uma perda de desempenho da máquina, não tendo um tempo para realizar o planejamento do serviço; e corretiva planejada, quando há correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.

O conceito de engenharia de manutenção é algo novo, tem como objetivo aperfeiçoar seus equipamentos e serviços com o propósito de possibilitar o aumento da confiabilidade e garantir a disponibilidade física por meio de inovação na execução da atividade e aplicação de novas estratégias no gerenciamento desta (BELMONTE e SCANDELARI, 2006). Pinto e Xavier (2009) apresentam que a engenharia de manutenção é definida como o uso de ações proativas na manutenção, isto é, aplicar melhorias nas máquinas permitindo assim uma maior clareza na manutenção. As empresas que apenas utilizam da manutenção corretiva não planejada, apresentam resultados ruins e problemas crônicos, pois seu tempo é dedicado a ações corretivas, assim não há aplicação da engenharia de manutenção. Para Fabro (2003), quando a empresa incentiva a utilizar a engenharia de manutenção nas áreas, há um novo recomeço quanto à cultura organizacional, tendo a tendência de mudar a visão, passando assim a enxergar uma maior disponibilidade da planta.

Quando há o desejo de melhorar a gestão e o funcionamento de equipamentos, é preciso encontrar formas de medir o desempenho para saber se as ações estão favorecendo ou prejudicando a performance das máquinas (EEEP, 2019b). Por isso há os indicadores de manutenção, que podem ser definidos como informações que são coletadas e que mostram as medições em um processo, para assim obter resultados. Desta forma, os indicadores de manutenção podem medir diferentes performances, desde o tempo de parada até o processo produtivo como um todo (SILVEIRA, 2019). Os pontos mais importantes do processo devem ser examinados pelos indicadores de manutenção, ou seja, estes precisam espelhar a real situação dos pontos principais do processo. Quando se escolhe os indicadores de manutenção deve se ter em mente que os indicadores escolhidos devem ser aqueles que agregam valor (VIANA, 2002). Para Xenos (1998), os três principais indicadores de manutenção mais utilizado na indústria são: disponibilidade física, MTBF – Tempo Médio Entre Falhas e MTTR – Tempo Médio de Reparo. Viana (2002) acrescenta outros dois indicadores a estes citados, o Custo de Manutenção por Faturamento e o Custo da Manutenção por Valor de Reposição, denominando esses cinco como “Indicadores de Classe Mundial”. O Gráfico de Pareto é também comumente utilizado como indicador de manutenção. Segundo Werkema (2006) este é um gráfico de barras ordenadas de acordo com sua altura, e é traçada uma curva que mostra as porcentagens acumuladas de cada barra. Este gráfico dispõe a informação que permite analisar a concentração dos esforços para melhoria das áreas onde os maiores ganhos podem ser obtidos. É conhecido por ser uma das sete ferramentas da qualidade, o Gráfico de Pareto mostra a priorização das causas de problemas.

3. O ESTUDO DE CASO

Além de diversas necessidades da área de manutenção, as telas utilizadas no processo de peneiramento são comuns de aço carbono. Quando o material está com a umidade alta ou com o teor alto de manganês, reduz a eficiência do peneiramento, fazendo com que aumente a dificuldade do minério atravessar as aberturas dos fios das telas. Com isso, tem-se a importância de estudar a minimização das paradas não programadas no setor de peneiramento do equipamento Warrior – 2400, verificando históricos de paradas para desobstrução de telas convencionais, apresentando medidas para reduzir as paralizações para manutenção e apresentando diversos modelos de telas.

A pesquisa foi realizada em uma mineração da região do Alto Paraopeba, localizada na cidade de Congonhas no estado de Minas Gerais. O beneficiamento do minério através do equipamento (UPE) unidade de peneiramento escalpe, que trabalha com minério de ferro com teor entre 61 e 62%. Após passar pelo processo o produto final não precisa ser lavado, então o mesmo é carregado e é encaminhado para o terminal ferroviário (Dados internos da empresa 2019). A Figura 2 apresenta o Powerscreen, um equipamento de peneirar minério.

Figura 2 - Vista superior Warrior - 2400 Powerscreen.

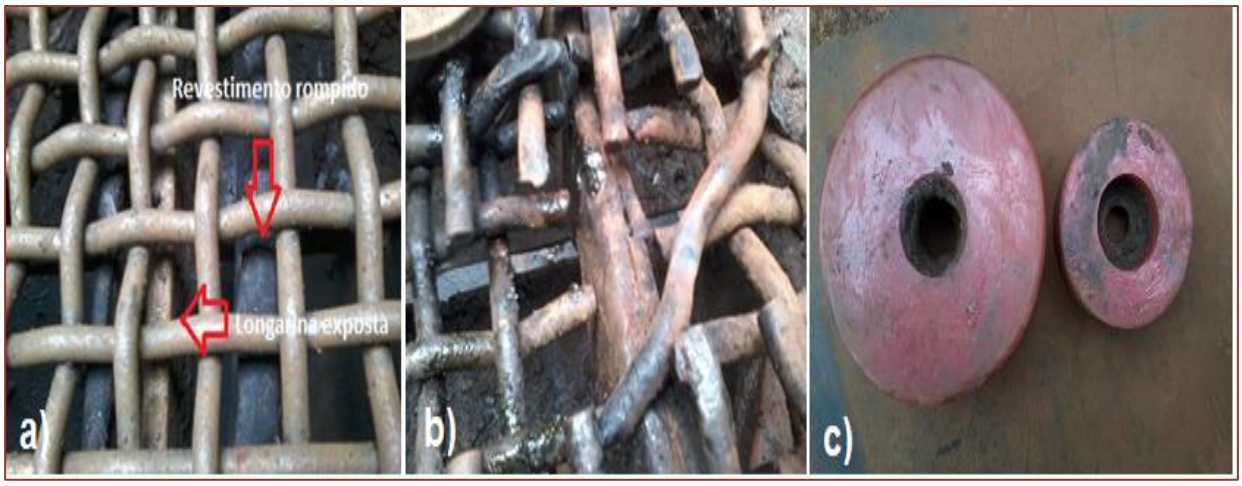
Fonte: Powerscreen (2019)

Segundo o fabricante da planta móvel *Powerscreen* (2019), a peneira vibratória do modelo *Warrior-2400* é projetada para trabalhos pesados; tem uma capacidade nominal de produção de 800t/h; criada para 3 tipos de produto: retido, que possui granulometria superior a 50mm; granulado (>18mm<50mm) e *Sínter feed* (<18mm). A *Warrior-2400* tem um motor diesel *Caterpillar* que aciona duas bombas hidráulicas através de sistemas hidráulicos, que aciona todo o equipamento, que se locomove por meio de esteiras, porém, para pequenas distâncias, dependendo do nivelamento do piso. O equipamento contém ainda um alimentador de sapatas responsável por levar o minério até a peneira vibratória, que é responsável por peneirar e classificar o material. Essa é composta por dois *decks*: o *deck* superior e o *deck* inferior. Na estrutura do equipamento contém quatro correias transportadoras responsáveis por direcionar o fluxo de material até as pilhas.

Este trabalho não apresenta técnicas de amostragem, ele refere-se à minimização de paradas não programadas. Para isso, mostra a importância da tela auto-limpante para o processo, comparada com a tela convencional. O intuito da aplicação desta nova peneira é reduzir o número de paradas, proporcionando maior produtividade e menor custo à empresa. Esta pesquisa referiu-se a dados históricos obtidos na empresa mineradora localizada no Estado de Minas Gerais, com as telas convencionais comparando com os dados adquiridos após a aplicação das telas auto-limpantes, verificando as vantagens da aplicação dessas novas telas ao processo.

As telas das peneiras vibratórias, objeto de estudo, são fundamentais para o processo de peneiramento e classificação dos minerais. Por isso, a escolha da tela mais apropriada tem grande importância na qualidade do produto final. As telas utilizadas, de aço carbono, apresentavam uma série de problemas como desgaste excessivo, ausência de revestimento de longarinas, rompimento, e ineficiência na fixação, como mostram as Figuras 3a, 3b e 3c. Porém, o que mais impactava a disponibilidade do equipamento à produção é a obstrução. Por este motivo, surgiu a ideia da implantação das telas auto-limpantes, no lugar das telas tradicionais utilizadas até o momento. Os benefícios previstos com esta substituição são: diminuição no número de paradas; aumento na produtividade; melhoria na eficiência do equipamento; e melhoria na ergonomia do trabalho.

Figura 3 – a) Desgaste excessivo e ausência de revestimento de longarinas; b) Rompimento da tela; c) Ineficiência da fixação – copos de fixação sem padronização.

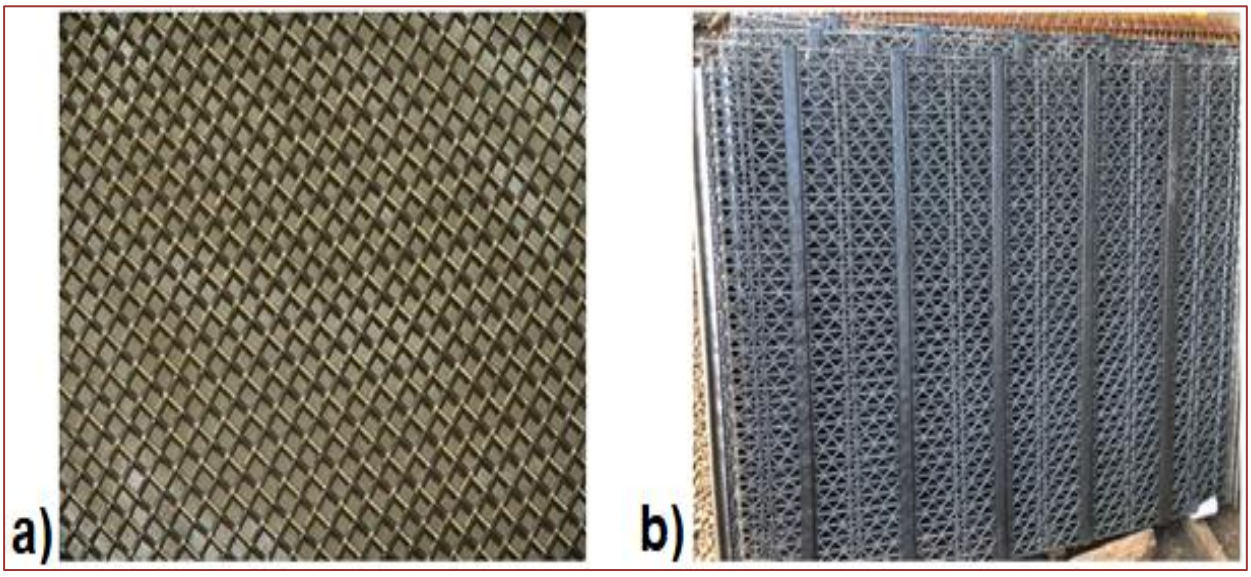


Fonte: Dados do estudo (2020)

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Como forma de apresentar os dois modelos de telas estudados a Figura 4a e 4b mostram as telas convencionais e auto-limpantes, respectivamente.

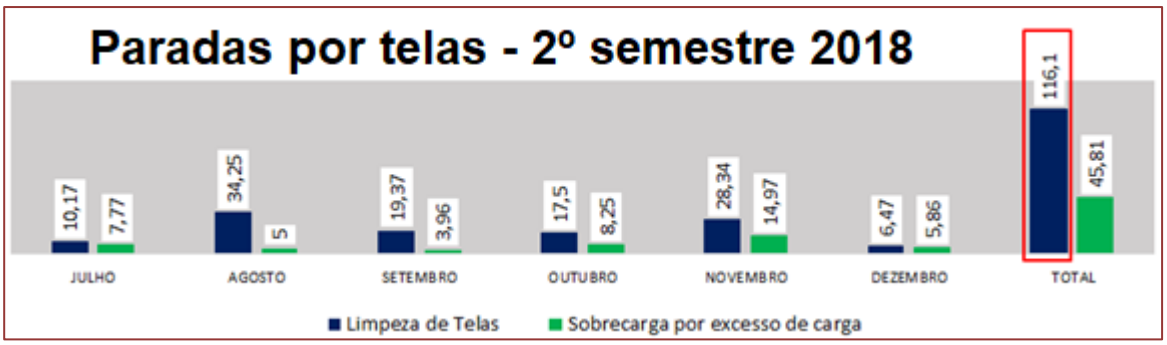
Figura 4 – a) Telas convencionais; b) Telas auto-limpantes.



Fonte: Dados do estudo (2020)

A primeira ação que envolve a decisão de realizar a substituição das telas utilizadas se deu na realização do levantamento sobre o tempo de parada dedicado a limpeza de telas. O Gráfico 1 mostra o tempo em minutos de paradas por telas do período de julho a dezembro de 2018. Neste período foram dedicados 116,1 minutos para solução do problema em questão.

Gráfico 1 – Paradas para limpezas de telas – telas tradicionais



Fonte: Dados do estudo (2020)

As novas telas sugeridas, para solução desse problema, são denominadas auto-limpantes. Esse tipo de tela pertence a um grupo especial desenvolvido para ser usado quando o material a ser peneirado apresenta características de obstruir as aberturas das telas convencionais. São telas de rendimento excelente quando usadas para peneirar materiais de difícil classificação. São recomendadas para peneirar materiais úmidos, aglomerados e desaguamento. O conjunto de telas utilizado nas UPE's consiste em malhas de metal com espessura de 6,35mm com abertura de 17x17mm, contendo uma chapa de junção nas laterais e borrachões anti-impacto. Para verificar se a implantação proporcionou benefícios à empresa, primeiramente foi realizado um levantamento do valor médio da perda financeira por tempo dedicado a limpeza das telas para desobstrução. O período de coleta foi de julho a dezembro de 2018 e o custo total foi próximo a 11 milhões de reais, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Perda financeira em função das paradas de limpeza.

MÊS 2018	HORAS DE PARADA	COTAÇÃO DO MINÉRIO	TAXA	$ DOLAR	CUSTO TOTAL
JUL	10,17	$ 64,56	359	R$ 3,75	R$ 885.045,77
AGO	34,25	$ 67,15	367	R$ 4,07	R$ 3.437.344,70
SET	19,37	$ 68,44	346	R$ 4,04	R$ 1.851.762,26
OUT	17,5	$ 73,41	373	R$ 3,72	R$ 1.783.857,44
NOV	28,34	$ 73,26	258	R$ 3,86	R$ 2.065.384,75
DEZ	6,47	$ 69,15	293	R$ 3,88	R$ 508.059,10
					R$ 10.531.454,02

Fonte: Dados do estudo (2020)

Depois de verificar que a empresa deixa de adquirir um expressivo valor devido o tempo gasto para limpeza/desobstrução de telas, foi preciso verificar a diferença dos valores de aquisição dos dois modelos de telas: tradicional e auto-limpante. Foi visto que, esta última é 47% mais cara que a tradicional, como mostrado na Tabela 2.

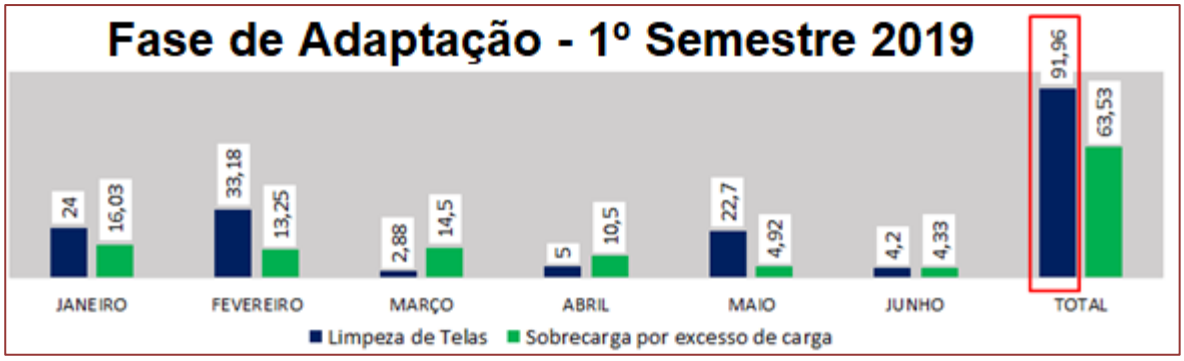
Tabela 2 – Custo de compra: tela tradicional e auto-limpante

TIPO DE TELA	COD. SAP	DESCRIÇÃO	BRL	QTDE	CUSTO DE TROCA DE CADA CONJUNTO
AUTOLIMPANTE	8681957	TELA MET SAE1065 6,35MM 17X 17	1.722,09	5	R$ 8.610,45
COMUM	8590855	TELA CSN DM368515	1.170,83	5	R$ 5.854,15

Fonte: Dados do estudo (2020)

Depois de avaliar tais informações, a equipe responsável pela manutenção do equipamento resolveu realizar um teste de adquirir dois conjuntos de telas, implantá-las e verificar se houve melhorias com a nova aquisição. É importante frisar, porém, que implantar as telas auto-limpantes gera um custo adicional de R$34.442,00, além do valor das duas telas que juntas somam R$17.220,90. Esse valor foi obtido através do setor de Engenharia da empresa, que realizou a cotação necessária para implantar o novo modelo de tela. Assim, para realizar o teste foi necessário um total de R$51.662,90. Durante a fase de adaptação (janeiro a junho de 2019) houve uma redução de tempo de paradas de 20,79%. De 116,1 minutos para 91,96 minutos, o Gráfico 2 apresenta tais dados.

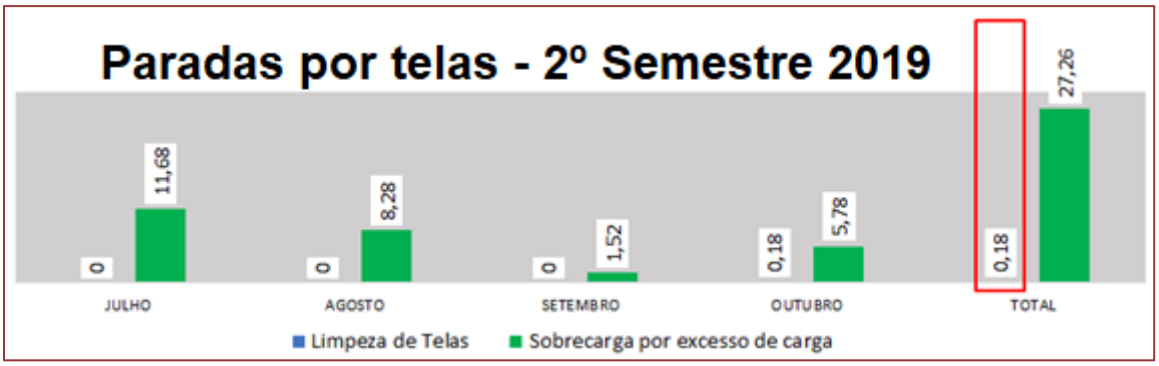
Gráfico 2 – Paradas para limpeza de telas – Fase de adaptação.



Fonte: Dados do estudo (2020)

Baseado nesses dados, a equipe realizou adequações e, posteriormente, solicitou um novo teste. Com o segundo conjunto de telas, e sua aplicação em julho de 2019, foi observado que até outubro deste mesmo ano não houve registros de paradas para limpeza de telas, Gráfico 3, observando que até este momento a redução foi de 100%.

Gráfico 3 – Paradas para limpeza de telas – Fase final.



Fonte: Dados do estudo (2020)

Quanto ao tempo necessário para pagar o investimento em telas, pode-se considerar a seguinte situação: a vida útil de uma tela comum é de 90 dias, sendo seu custo igual a R$5.840,00. A tela auto-limpante tem vida útil de 45 dias e cada tela apresenta um custo de R$8.610,00. Assim, resumidamente, durante 90 dias os custos referentes ao modelo auto-limpante foi de R$17.220,00. Através dos dados apresentados foi possível notar que a empresa tem um gasto adicional de R$11.366,00 a cada 90 dias, devido à troca de modelo de telas. Como a organização apresenta quatro Unidades de Peneiramento, o valor no período cresce para R$45.464,00. Sabendo que a empresa deixou de arrecadar R$10.531.454,00 (dados retirados da Tabela 1), devido sua parada por 116,1 horas (como mostra os dados do Gráfico 1), o valor médio da hora parada desta empresa é de R$90.710,20. Se o custo adicional das quatro telas se refere a R$45.464,00, e uma hora parada para efetuar a limpeza requer da empresa uma perda de R$90.710,20, o tempo necessário para que as vantagens do projeto paguem seu custo adicional é de 30 minutos. A empresa em questão gasta um determinado valor com a compra mensal de telas para as unidades de peneiramento. Mudando o modelo de telas, passando para auto-limpante, este custo mensal aumenta e a vida útil diminui. O que ocorre, porém, é que o modelo anterior proporciona paradas para manutenção que resulta em uma perda financeira de mais de 10 milhões de reais, enquanto esse novo modelo extingue o tempo dedicado à obstrução. De acordo com os valores apresentados acima, esse custo adicional com as novas telas é compensado nos primeiros trinta minutos de uso, quando a empresa deixa de perder tempo e dinheiro com as paradas citadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as telas auto-limpantes montadas, observou-se os ganhos em questão de produtividade e ergonomia. Além de reduzir o tempo de manutenção em decorrência de limpeza por obstrução, essa nova opção é mais leve que as tradiconais e evita o contato do trabalhador com as telas para executar a limpeza. Apesar de apresentar custo maior que as telas tradicionais, o novo modelo se torna mais rentável, visto que foi capaz de reduzir em 100% o tempo de paradas para limpeza por obstrução. Esse fato proporciona ainda mais um benefício, em relação à segurança, pois, não havendo a necessidade de parar a planta para limpar as telas, o operador não precisará se expor ao risco de queda ao efetuar a mesma. Em relação aos objetivos de estudo, pode-se afirmar que esta pesquisa atendeu os objetivos específicos, quando: apresenta os modelos de tela usadas

em dispositivos de peneiramento, além dos históricos de paradas para desobstrução de telas em três cenários: na utilização de telas convencionais, no teste (adaptação) com telas auto-limpantes e no uso destas novas telas, após adequação das mesmas. Dentro do contexto apresentado a pesquisa atingiu o objetivo que era minimizar as paradas não programadas no setor de peneiramento no equipamento Warrior – 2400. Isso porque o uso das novas telas diminuiu em 100% o tempo de paradas não programadas para desobstrução de telas. Os benefícios deste feito foram: aumento na produtividade; melhoria na eficiência do equipamento; e melhoria na ergonomia do trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Informe mineral. 2018. 25p.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462. Confiabilidade e mantenabilidade: Terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

[3] BELMONTE, D. L.; SCANDELARI, L. Gestão do conhecimento: aplicabilidade prática na gestão da manutenção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

[4] BRASIL TELAS. Disponível em:< http://www.brasiltelas.ind.br/produto4.php>. Acesso em: 23/04/2019.

[5] BROWN, E. T. 2002. Block Caving Geomechanics. Brisbane, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, 1 ed., 515 p.

[6] CARRISSO, C. C. R; CORREIA, G. C. J. Classificação e Peneiramento. In: LUZ, A.B, SAMPAIO, J.A. e DE ALMEIDA, M.L.S (Eds). Tratamento de Minérios CETEM – MCT. Rio de Janeiro, 2004. p.197- 237.

[7] CHAVES, A. P.; PERES, A. E.C. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. Volume 3. São Paulo: Editora Signus, 2003.

[8] DA LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A. e DE ALMEIDA, S. L.M. Tratamento de Minérios, Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

[9] DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2014. Brasil: Brasília.

[10] DRUMOND, M. R. Manual do sistema de gerenciamento da manutenção: Companhia Vale do Rio Doce. Minas Gerais, 2004.

[11] EEEP – Escola Estadual de Educação Profissional. Curso técnico em Mineração. Disponível em:< https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_introducao_a_mineracao.pdf>. Acesso em: 11/06/2019 (a).

[12] EEEP – Escola Estadual de Educação Profissional. Curso técnico em Mecânica. Disponível em:< https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mecanica/mecanica_gestao_da_manutencao_mecanica_2019.pdf>. Acesso em: 11/06/2019. (b)

[13] FABRO, E. Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processos. Florianópolis, 2003

[14] GERALDI, J. L. P. O ABC das Escavações de Rocha. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 266 p.

[15] GIRODO, A. C. Mineração: Projeto Apa Sul RMBH – Estudos do Meio Físico. v. 2. Belo Horizonte, 2005. 168 p.

[16] HARTMAN, H. L.; MUTMASKY, J. M. 2002. Introductory Mining Engineering. Hoboken, John Wiley & Sons, 2 ed., 570 p.

[17] IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Tema: Mineração no Brasil. 2003. Disponível em:<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004226.pdf>. Acesso em: 04/05/2019.

[18] IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. (2015). Produção mineral brasileira. Site. Brasil, mar.

[19] LUZ, A. B. E; LINS, F. A. F. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M. Tratamento de Minérios. 4 ed. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 2004. n. 1, p. 3 – 16.

[20] MACÊDO, A. B. et al. Seleção do Método de Lavra: Arte e Ciência. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v.54, n.3, jul./set 2001. Não Paginada.

[21] MILHOMEM, F. de O. Modelagem de desaguamento em peneira. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

[22] MIRSHAWKA, V. de. Manutenção preditiva. 1ª edição. São Paulo: Atlas, 1998.

[23] NELSON, M. G. 2011. Evaluation of mining methods and systems. In: Darling P. SME Mining Engineering Handbook. EUA, Society for Mining Metallurgy and Exploration, 3 ed., p. 341-348.

[24] PINTO, A. K; XAVIER, J. A. N. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

[25] POWERSCREEN. Catálogo de produtos. Disponível em:<www.powerscreen.com/pt/produtos/>. Acesso em: 05/05/2019.

[26] SAMPAIO, C. H.; TAVARES, L. M. M. Beneficiamento Gravimétrico: uma Introdução aos Processos de Concentração Mineral e Reciclagem de Materiais por Densidade. 1 ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2005. 603 p.

[27] SCHUMANN, W. Guia dos Minerais. Barueri, São Paulo: DISAL, 2008. 127 p.

[28] SILVEIRA, C. B. Indicadores de performance da manutenção industrial. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/indicadores-performance-manutencao-industrial/>. 2019. Acesso em: 26/03/2019.

[29] STEPHAN, G. 2011. Cut and Fill Mining. In: Darling P. SME Mining Engineering Handbook. EUA, Society for Mining Metallurgy and Exploration, 3 ed., p. 1365- 1373.

[30] VALADÃO, G. E. S; ARAUJO, A. C. Organizadores. Introdução ao tratamento de minérios. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

[31] VIANA, H. R. G. PCM, Planejamento e controle da manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed., 2002.

[32] WERKEMA, M. C. Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. v. 2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2006.

[33] XENOS, G. H. Gerenciando a manutenção produtiva. Belo Horizonte: Editora DG; 1998. 302 p.

Capítulo 3

Manutenção preventiva da barra equalizadora do trator de esteira Caterpillar D6T

Bruno Luís Damas
Luciano José Vieira Franco
Jussara Fernandes Leite
Fernando de Souza Santana
José Dimas de Arruda

Resumo: A atividade de manutenção tem como a principal função nas empresas de manter a integridade física dos equipamentos, para que os mesmos correspondam com rendimento esperado. Este estudo tem como principal foco analisar e sanar as constantes quebras do componente barra equalizadora dos tratores de esteira Caterpillar D6T, pertencentes a frota de uma mineradora de pequeno porte, situada no interior de Minas Gerais. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado uma abordagem qualitativa de pesquisa e procedimentos técnicos. Inicialmente foram realizadas reuniões com os responsáveis pelo setor de manutenção de equipamentos móveis de mina, em que foram apresentadas várias sugestões de mudanças e motivos das quebras que estavam prejudicando o rendimento dos tratores de esteira. Após isso, foi realizada a análise de falhas para levantar as possíveis causas das constantes quebras do componente barra equalizadora. Analisando os dados, iniciou-se a tratativa das falhas que possivelmente estava proporcionando a quebra constante do componente barra equalizadora. Após a elaboração de ações, foi implementado um plano de ação onde foram acompanhadas cada ação neutralizadora. As ações foram dividias em atualização do plano de manutenção, que não direcionava para a inspeção e lubrificação do componente a cada 250 horas de operação, qualificação da equipe de lubrificação com treinamento prático e teórico sobre os pontos de lubrificação dos tratores de esteira, e a correta maneira de aplicação dos lubrificantes sólidos e líquidos em cada ponto de que necessitava de lubrificação. Simultaneamente às ações anteriores, realizou-se o processo de reforma da barra equalizadora e do chassi de cada trator Caterpillar D6T. Após isso, o processo de manutenção de reforma foi iniciado pelo inspetor de manutenção requisitando e planejando cada componente para reforma. Por fim, foi elaborado um procedimento operacional para a tratativa destas falhas, as quais ficaram três meses sem ocorrer, mostrando a eficácia das medidas implementadas.

Palavra Chave: Trator de Esteira; Manutenção; Lubrificação.

1. INTRODUÇÃO

Para que se mantenham no competitivo mercado de mineração, as empresas necessitam realizar melhorias constantes em seus processos e equipamentos fora de estrada, que são de grande importância dentro do processo produtivo e requerem atenção especial. Os equipamentos de infraestrutura requerem assistências constantes do setor de manutenção devido aos elevados índices de carga de trabalho e os esforços a que são solicitados. O principal equipamento utilizado para a remoção de estéril são os tratores de esteira, equipamento que realiza a remoção de material.

O processo de manutenção é o mais importante dentro de todos utilizados, quando se trata de equipamentos de extração de minerais. Isso se deve ao fato deste processo ser o responsável em manter os equipamentos em perfeito funcionamento. A quebra dos equipamentos reflete sobre a manutenção e lubrificação dos equipamentos de infraestrutura, em especial os tratores de esteira.

Com isso, esse trabalho tem o objetivo de estudar a minimização das paradas por manutenção corretiva de uma barra equalizadora, diminuindo as frequentes quebras dos tratores de esteira devido à lubrificação ineficiente ou até mesmo inexistente de sua barra equalizadora.

2. MANUTENÇÃO E PRODUÇÃO

Segundo Monchy (1987), a manutenção dos equipamentos de produção é um elemento chave tanto para a produtividade das empresas quanto para a qualidade dos produtos. É um desafio industrial que implica rediscutir as estruturas atuais inertes e promover métodos adaptados à nova natureza dos materiais.

Ao longo do tempo o processo de manutenção se desenvolveu de forma crescente, e até a segunda guerra mundial não existia uma cadeia de produção, e a produção era essencialmente de forma artesanal (MORAES, 2004). Para Kardec e Nascif (2009), a primeira geração da manutenção abrange esse período anterior à segunda guerra mundial, onde se existia pouca mecanização e os equipamentos eram simples, sendo seu reparo de fácil execução. Não era necessária uma manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra, ou seja, a manutenção era, fundamentalmente, corretiva não planejada. Iniciada nos anos de 1950 e finalizada por volta dos anos 1970, num cenário pós-guerra, a segunda geração da manutenção ocorreu com crescente demanda por produtos, impulsionando a mecanização das indústrias.

Kardec e Nascif (2009) explicam que se tem uma inversão proporcional entre mecanização e mão de obra, enquanto a demanda de produtos crescia, gerando um aumento da complexidade das instalações industriais, o contingente de mão de obra industrial diminuiu sensivelmente, começando-se a evidenciar a necessidade de confiabilidade e disponibilidade, na busca da maior produtividade, passando a indústria a depender do funcionamento correto das máquinas, levando a ideia de que falhas nos equipamentos deveriam ser evitadas, surgindo ai o conceito de manutenção preventiva. Tavares (1999) informa que com a prática da manutenção preventiva ocorreu um aumento na disponibilidade física dos equipamentos. Através de atividades previamente programadas em decorrência da vida útil dos componentes, recomendada pelos fabricantes e pelo histórico de paradas do mesmo, foi possível estabelecer um plano de intervenções antecipadas com o objetivo de evitar falhas prováveis.

Moubray (1997) *apud* Souza et. al. (2010) esclarece que a terceira geração da manutenção buscou novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade e confiabilidade, sem proporcionar nenhum dano ao ambiente, ter maior segurança, maior qualidade do produto e custo sob controle. A partir da década de 1970 as indústrias começaram a acelerar seu processo de mudança. Os períodos de paralização foram se agravando, passando a ser necessárias à implementação de mudanças. De acordo com Kardec e Nascif (2009), aconteceram as seguintes mudanças: reforçaram o conceito e a utilização da manutenção preditiva; o avanço da informática permitiu a utilização de computadores pessoais velozes e o desenvolvimento de softwares potentes para o planejamento, controle e acompanhamentos de serviços de manutenção; o conceito de confiabilidade começa a ser cada vez mais aplicada pela Engenharia e na Manutenção; e houve o surgimento do processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade, apoiada nos estudos de confiabilidade da indústria aeronáutica, contudo a falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação, impedia que os resultados fossem melhores e, em consequência, as taxas de falhas prematuras eram elevadas.

No entendimento de Kardec e Nascif (2009), algumas expectativas em relação à manutenção existentes na terceira geração continuam a existir na atualidade, passando a ter como desafio a minimização das falhas prematuras, consagrando-se a prática de análise de falhas como uma metodologia capaz de melhorar o desempenho dos equipamentos e da empresa. Ainda que as empresas adotem a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação como garantia dessas metas.

2.1. TIPOS DE MANUTENÇÃO

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção pode ser dividida em manutenção corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva pode ser definida como aquela que visa corrigir, ou seja, busca a correção do defeito após o seu surgimento. Esse tipo de manutenção caracteriza-se pela atuação em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Não há tempo para a preparação do serviço e infelizmente ainda é mais praticada do que deveria. Pereira (2009) em seus estudos comenta que alguns especialistas dividem a manutenção corretiva em emergencial, àquela que ocorre sem nenhuma previsão, e programada, que exige estudos estatísticos.

Sobre a manutenção preventiva, Xenos (1998) mostra que essa tem a vantagem na diminuição na frequência das falhas em relação à manutenção corretiva, afirmando que a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também diminuem as interrupções inesperadas da produção. Ou seja, se considerarmos o custo total, em várias situações, a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.

A manutenção preditiva, segundo Pereira (2009), surgiu da necessidade de conseguir maior disponibilidade e, principalmente, de confiabilidade dos ativos empresariais. De acordo com Kardec e Nascif (2009), o termo associado a esse tipo de manutenção é o de predizer as condições dos equipamentos, ou seja, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção dos equipamentos ou sistemas, pois as medições são efetuadas com eles produzindo. As condições básicas para a adoção da manutenção preditiva estão relacionadas com o equipamento, o sistema ou a instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição, considerando os custos envolvidos. Além disso, as falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada, e que seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico sistematizado.

Além dessas três classificações de manutenção, deve-se destacar a engenharia de manutenção, que está atrelada a uma mudança cultural, pois, está diretamente ligada a implementação de melhorias e mudanças contínuas nas rotinas das atividades da área de manutenção (FREITAS, 2016). Kardec e Nascif (2009) advogam que a engenharia de manutenção está atribuída a: aumentar a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança; melhorar a manutenibilidade e a capacidade do pessoal; eliminar problemas crônicos; solucionar problemas tecnológicos; gerir materiais e sobressalentes; participar de novos projetos (interface com a engenharia); dar suporte a execução; fazer análise de falhas e estudos; elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer sua análise crítica; acompanhar os indicadores; e zelar pela documentação técnica.

2.2. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas básicas da qualidade são instrumentos que auxiliam as empresas no método de criação de melhorias de qualidade, sendo que a maioria dos problemas existentes em uma organização é passível de solução com a sua utilização. As principais ferramentas são: folha de verificação; diagrama de Pareto; diagrama de causa e efeito; histograma; diagrama de dispersão; fluxograma; gráfico de controle; brainstorming; e 5W1H (KUME, 1993). A utilização das ferramentas depende de uma análise do problema envolvido, bem como de todos os fatores que possam ter contribuído para a sua existência.

O Quadro 1 correlaciona às ferramentas da qualidade com o seu significado e indica sua correta aplicação. Entre todas as ferramentas da qualidade citadas, o diagrama de causa e efeito é utilizado para elaboração da análise de falha aplicada neste trabalho, indicando as possíveis causas que estão proporcionando danos à barra equalizadora.

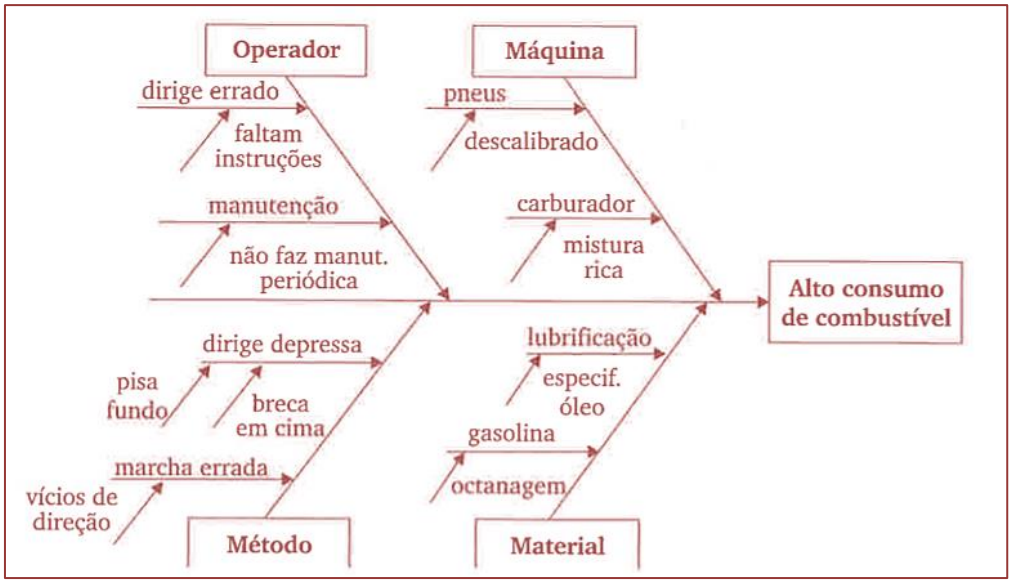
Quadro 1 – Ferramentas da qualidade

FERRAMENTAS	O QUE É	PARA QUE UTILIZAR
FOLHA DE VERIFICAÇÃO	Planilha para a coleta de dados	Para facilitar a coleta de dados pertinentes a um problema
DIAGRAMA DE PARETO	Diagrama de barra que ordena as ocorrências do maior para o menor	Priorizar os poucos, mas vitais.
DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	Estrutura do método que expressa, de modo simples e fácil, a série de causa de um efeito (problema)	Ampliar a quantidade de causas potenciais a serem analisadas
DIGRAMA DE DISPERSÃO	Gráfico cartesiano que representa a relação entre duas variáveis	Verificar a correlação entre duas variáveis
HISTOGRAMA	Diagrama de barra que representa a distribuição da ferramenta de uma população	Verificar o comportamento de um processo em relação à especificação
FLUXOGRAMA	São fluxos que permite a visão global do processo por onde passa o produto	Estabelecer os limites e conhecer as atividades
GRÁFICO DE CONTROLE	Gráfico com limite de controle que permite o monitoramento dos processos	Verificar se o processo está sob controle
BRAINSTORMING	É um conjunto de idéias ou sugestões criado pelos membros da equipe que permite avanços na busca de soluções	Ampliar a quantidade de opções a serem analisadas.
5W1H	É um documento de forma organizada para identificar as ações e a responsabilidade de cada um.	Para planejar as diversas ações que serão desenvolvidas no decorrer do trabalho.

Fonte: Cunha (2001)

Carpinetti (2010) comenta que o diagrama de causa e efeito pode ser conhecido também como diagrama espinha de peixe ou de Ishikawa. Permite identificar a relação entre as causas de um problema e os seus efeitos por meio da organização das informações. Pereira (2011) afirma que o formato deste diagrama, Figura 1, é desenhado para demonstrar por meio visual as várias causas que podem afetar um processo por classificação e a relação de causas. Para cada efeito, existem seguramente diversas categorias de causas, podendo ser agrupadas nos 6M, quais sejam: método, mão de obra, material, máquina, medição (se aplicável) e meio ambiente (se aplicável). Na maioria das vezes este diagrama é elaborado com a montagem de uma equipe multidisciplinar, em que as sugestões de possíveis causas do problema vão se delineando no diagrama. A vantagem desta ferramenta é ser estruturada, direcionando o que deve ser verificado para identificar as causas, permitindo uma ampla visão de tudo que pode interferir no andamento da atividade.

Figura 1 – Diagrama de Causa e Efeito.

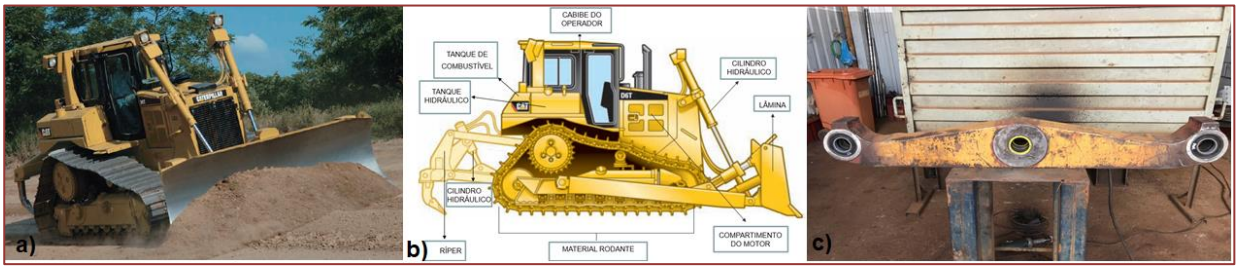


Fonte: Carpinetti (2010)

2.3 TRATOR DE ESTEIRAS

Ricardo e Catalani (2007) explicam que o trator é uma unidade de tração autônoma que realiza diversas atividades, algumas executadas pela introdução de acessórios, e é utilizado até mesmo para empurrar outras máquinas. Esse equipamento, dependendo de seu fim, é colocado sobre pneumáticos (chamado de trator de rodas), ou esteira (chamado trator de esteira), Figura 2a. Conhecido por se destacar em uma ampla gama de tarefas, os clientes escolhem o D6T por ser utilizado para todas as tarefas de laminação, escarificação, uso de escrêiper e desbravamento de terras, bem como nivelamento de acabamento, aterro de valas, construção de usinas de petróleo/gás/eólicas e trabalho em aterros sanitários (SIS CATERPILLAR, 2020). A Figura 2b mostra um desenho esquemático desse trator indicando seus componentes. Um componente importante do trator de esteira é a barra equalizadora pinada (Figura 2c) que permite as armações dos roletes oscilarem para cima e para baixo de forma independente, para melhor se adaptarem ao relevo do solo e proporcionando o máximo de tração e conforto para o operador. Este componente é o foco de estudo desse trabalho.

Figura 2 a) Trator de Esteiras D6T Cat; 2b) desenho esquemático do Trator de Esteiras D6T Cat; 2c) Barra equalizadora.



Fonte: SIS Caterpillar (2020) e Dados da Pesquisa (2020).

2.4. LUBRIFICAÇÃO

Carreteiro e Belmiro (2008) esclarecem que a lubrificação é a separação de duas superfícies atritadas entre si, por meio de um fluído líquido ou sólido chamado de lubrificante. Essa separação faz com que haja redução de desgaste e ruído na movimentação entre os componentes. Belinelli (2011) completa essa informações ao ressaltar que a lubrificação é uma forma antiga de manutenção preventiva, a qual evita quebras desnecessárias, aumentando assim a vida útil de mecanismos.

A lubrificação também deve ser realizada de uma forma limpa, não contendo impurezas nos fluídos a serem utilizados, porque a existência dessas pode acarretar danos aos componentes de um determinado sistema. Com isso, demanda tempo, custo de manutenção e equipamento, deixando de desempenhar certas funções (LLEWELLYN, 2011). Para determinar a aplicação correta da lubrificação, foram desenvolvidos alguns modelos de sistemas de lubrificação, que podem ser aplicados a diversos mecanismos. Os tipos de dispositivos ou sistemas de lubrificação mais comuns são: os dispositivos de lubrificação a óleo, dispositivos de lubrificação a graxa, lubrificador mecânico, lubrificador hidroestático, sistema centralizado e lubrificação por névoa, segundo Carreteiro e Belmiro (2008).

Todo o fluído pode ser um lubrificante, como também alguns sólidos podem desempenhar este papel, e para ser válida a qualidade de uso para um lubrificante deve-se comprovar seu desempenho em diversos campos. Para Laranja *et. al.* (2012), os lubrificantes são usualmente empregados em formato de graxas e óleos, originados do petróleo, tendo a viscosidade dependente da temperatura a qual o lubrificante é empregado.

As graxas são materiais sólidos e semissólidos providos de óleo juntamente com um sabão, este que dá a consistência necessária, (TEXACO, 1994). Hissa (1991) explica que a graxa é um lubrificante mais complexo que o óleo, pois é um lubrificante que pode ser considerado como um produto resultante do espessamento de um óleo lubrificante, levando-o para um estado sólido ou semissólido, por meio de um agente espessante ou espaçador. Carreteiro e Belmiro (2008) indicam que os lubrificantes sólidos devem possuir forte aderência a metais, pequena resistência ao cisalhamento, estabilidade em altas temperaturas, ser quimicamente inertes e ter elevado coeficiente de transmissão de calor.

Os óleos lubrificantes são fluídos que tem a função de lubrificar componentes e sistemas mecânicos e podem ser dos tipos: minerais, graxos, compostos e sintéticos. De acordo com Carreteiro e Belmiro (2008) e Hissa (1991), os óleos dependem de uma propriedade fundamental, a viscosidade, que deve ser adequada à aplicação específica, fazendo com que o lubrificante escolhido tenha um bom rendimento na sua aplicação. Shigley et. al. (2005) indicam que a viscosidade de um fluído é a propriedade que determina a sua resistência ao cisalhamento. Além disso, afirmam que a escolha adequada do fluído por essa propriedade faz com que o rendimento final seja satisfatório ou não. Para medir essa propriedade usa-se o instrumento recomendado pela norma ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), o viscosímetro.

Para promover o rendimento funcional dos lubrificantes, tanto as graxas como os óleos podem ter adicionados na sua composição química aditivos de variadas características, conforme Laranja et. al. (2012).

3. O ESTUDO DE CASO

O estudo de caso ocorreu em uma empresa do ramo de mineração BGMN, nome fictício usado neste trabalho para preservar a imagem da empresa. Essa é uma empresa de exploração mineral que atua na região do quadrilátero ferrífero do Estado de Minas Gerais, na produção de minério de ferro. Assim, a pesquisa foi realizada por meio de duas etapas, sendo a primeira através de documentos da empresa, utilizando os planos de manutenções e de inspeção preventivas, por meio de relatórios, para ser realizada a apuração de todos os dados relacionados a constantes manutenções não programadas na barra equalizadora dos tratores de esteira Caterpillar D6T, a fim de detectar e atualizar qualquer informação pendente para uma ação correta; e a segunda etapa por meio de uma inspeção em campo, realizada em toda a frota de tratores de esteira para avaliação condicional do componente barra equalizadora, a fim de apurar todas as causas possíveis das constantes quebras desse equipamento, além de analisar os tempos necessários para substituição dos componentes, bem como a necessidade de mão obra para realização da atividade.

O trabalho buscou minimizar as paradas não programadas do equipamento, evitando a quebra dos tratores de esteira devido à lubrificação ineficiente na barra equalizadora. Ao verificar o histórico de manutenções das barras equalizadoras, foram identificadas as principais causas das paradas por manutenções corretivas e medidas de neutralização foram implementadas para reduzir as paradas por manutenções corretivas.

Os dados levantados na coleta de dados foram analisados e discriminados por meio de métodos estatísticos e conhecimentos técnicos para serem confrontados com as referências bibliográficas dos fabricantes, e assim poderem definir indicadores e ações para buscar o foco principal deste estudo, que é aumentar a vida útil da barra equalizadora dos tratores de esteira.

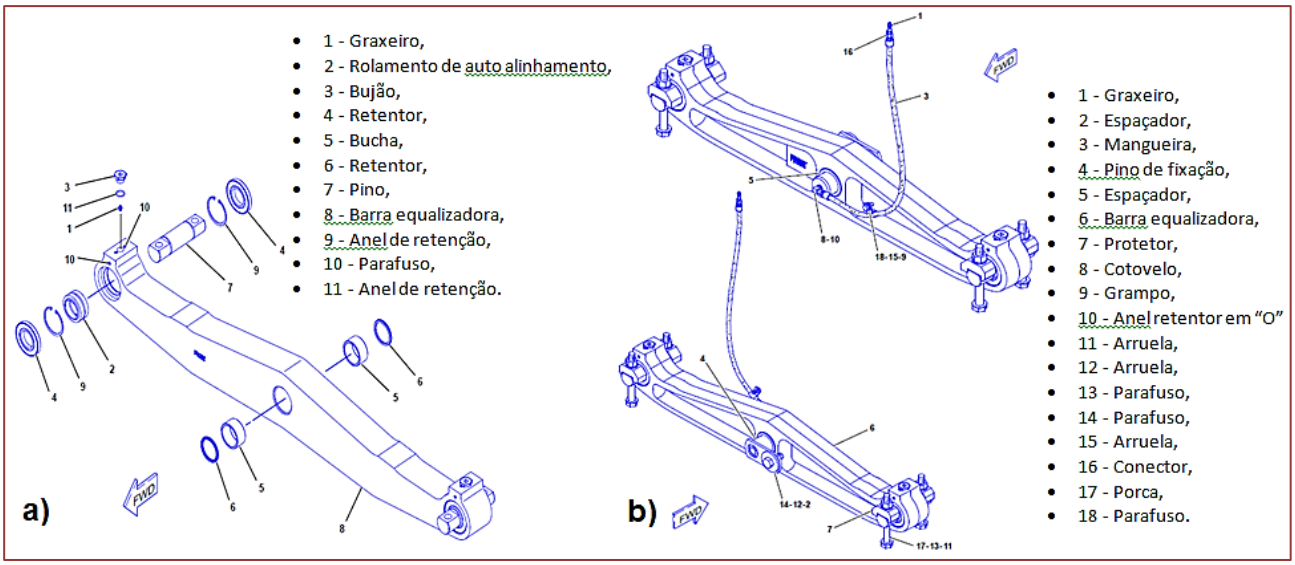
A Figura 3 mostra a barra equalizadora localizada no trator de esteira.

Figura 3 – Barra Equalizadora Trator de Esteiras D6T.

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

As Figuras 4a e 4b mostram os componentes da barra equalizadora e os componentes de fixação e lubrificação respectivamente.

Figura 4 a) Barra Equalizadora e seus componentes; 4b) Componentes de fixação e lubrificação da barra.



Fonte: SIS Caterpillar (2020)

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

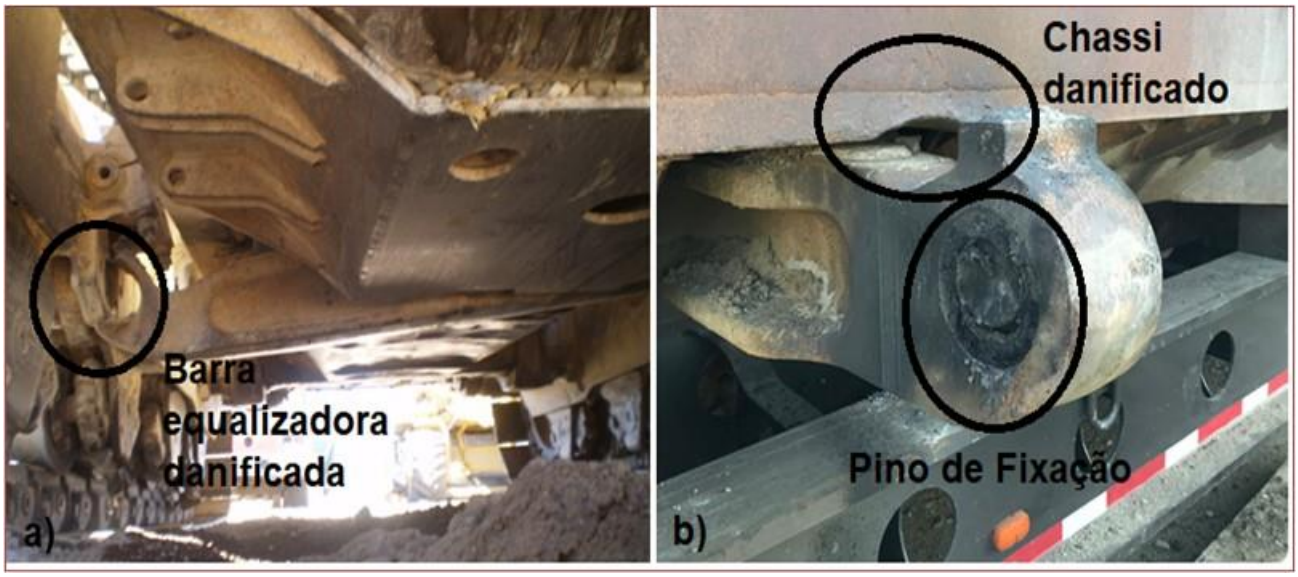
Após consecutivas quebras da barra equalizadora dos tratores Caterpillar D6T, despertou-se a necessidade de realizar uma análise em loco para identificar as possíveis causas das quebras, pois as constantes quebras proporcionaram uma queda considerável no rendimento da frota de estudo. Iniciou-se por meio de uma análise de falha utilizando a ferramenta da qualidade diagrama de Ishikawa, para levantar as possíveis falhas e as tratativas necessárias para eliminar ou reduzir drasticamente o índice de quebras de componente específico.

Por meio de pesquisas no sistema SAP de gestão de manutenção, foi identificado que não constava histórico de manutenções preventivas do componente barra equalizadora. Nesta mesma pesquisa verificou-se também que o plano de manutenção não norteava para verificação e manutenção do componente conforme o fabricante indicava em seu sistema de informação de serviço SIS Caterpillar. Ao verificar as orientações de serviço do SIS Caterpillar, relacionadas a manutenções preventivas, o fabricante recomenda que a cada 250 horas de operação seja necessária a lubrificação dos 3 pontos de fixação da barra equalizadora. O ponto central de união da barra equalizadora e o chassi do equipamento é o mais importante deles; os demais pontos estão localizados nas extremidades de fixação da barra com a armação de roletes.

As principais causas que estavam proporcionando as constantes paradas por corretivas e quebras do componente barra equalizadora dos tratores de esteira Caterpillar D6T durante as inspeções de rotina da frota realizadas pelo inspetor, foram identificadas pela falta de limpeza dos tratores antes das manutenções preventivas, pelo alto índice de postergação das manutenções, pela falta de capacitação técnica da equipe de lubrificação e pelo baixo conhecimento do equipamento trator de esteira e seus pontos de lubrificação. A soma desses fatores, ao decorrer do tempo, ocasionava uma sequência de quebras na barra equalizadora, por desconhecimento da necessidade de lubrificação a cada 250 horas por parte da equipe de lubrificação.

A Figura 5a e 5b mostram os pontos de danificação na barra equalizadora e no chassi.

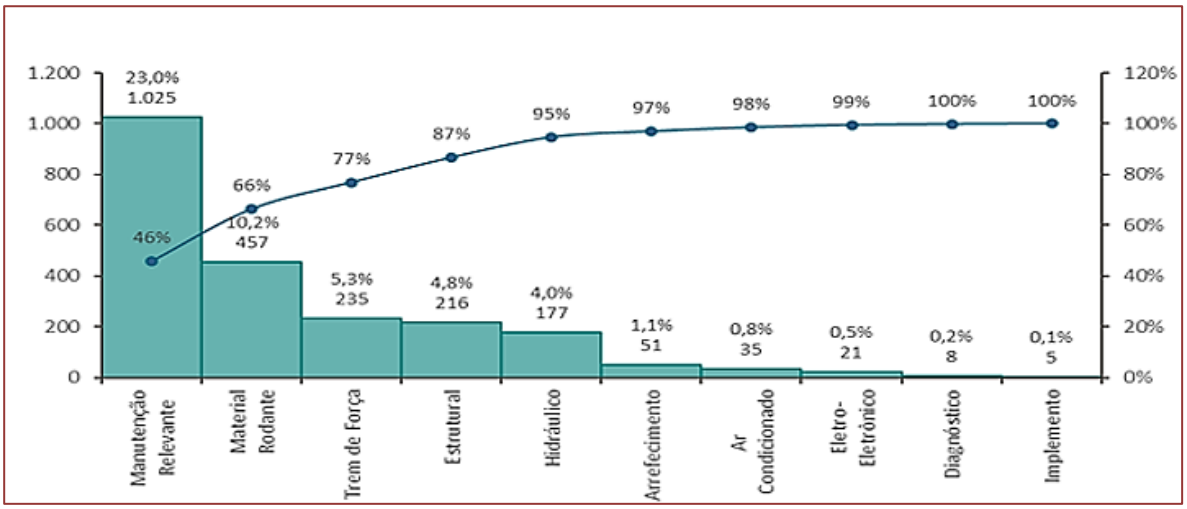
Figura 5 a) Barra equalizadora danificada; 5b) Dano observado no chassi e pino de fixação.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

O estudo para identificar as quebras do componente barra equalizadora foi realizado utilizando a ferramenta da qualidade diagrama de Ishikawa, para nortear a análise de falha, utilizando o perfil de perdas, as principais causas são indicadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Perfil de Perdas: Tratores de esteira - Horas Corretivas por Sistema Outubro 2019.

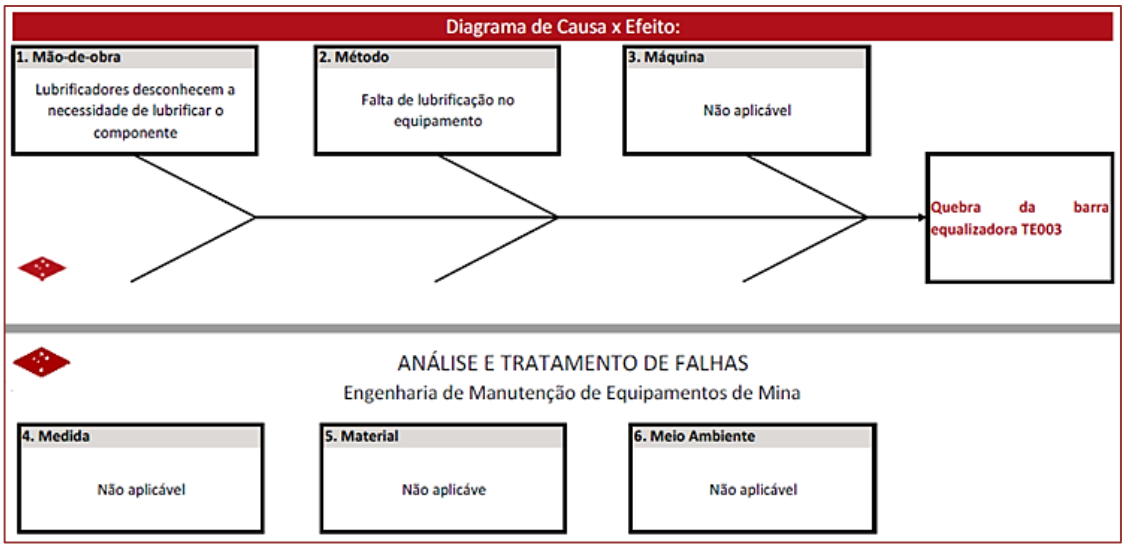


Fonte: Dados da pesquisa (2020)

A principal causa de quebra está relacionada à manutenção, que estava sendo feita de forma incorreta ou mesmo não sendo realizada no tempo indicado pela fornecedora do equipamento. Com isso o número de quebra no material rodante foi alto, sendo indicado como segundo principal fator. Em sequência, a quebra do trem de força (5,3%), problemas estruturais (4,8%) e hidráulicos (4,1%), todos relacionados à mecânica do equipamento, somam 95% das causas das falhas.

Em sequência, com o objetivo de informar os responsáveis de forma oficial, foi elaborada uma análise e tratamento de falhas contendo: a elaboração, a descrição da falha, as informações técnicas do equipamento e o relatório fotográfico do equipamento danificado. A partir dessa análise, foi elaborado um diagrama de causa e efeito (Figura 6), denotando possíveis causas que proporcionaram a quebra do componente.

Figura 6 – Análise e tratamento da falha na barra equalizadora.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Após a elaboração do diagrama de causa e efeito foram levantadas as possíveis soluções para solucionar o problema de quebra. Quanto à falta de lubrificação no equipamento, foi solicitado o detalhamento no Plano de Manutenção Preventiva (PMP), informando todos os pontos que devem ser lubrificados e em qual intervalo de tempo deve ser realizado. Para isso, foi feito do treinamento para capacitação dos profissionais que atuam na lubrificação. Além disso, Foi descrito a forma correta para realizar a limpeza no local da lubrificação. Desta forma, iniciaram-se a ações de correção para reduzir as quebras da barra equalizadora dos tratores de esteira. Tais ações identificadas foram: atualização do plano de manutenção; elaboração de uma apostila de informação técnica sobre lubrificação dos equipamentos; e a reformulação de todas as barras equalizadoras.

Em sequência, iniciou-se a tratativa das ações neutralizadoras. Foi dado início a atualização do plano de manutenção preventiva da frota de tratores de esteira, pois o mesmo não norteava para realizar lubrificações preventivas da barra equalizadora. Utilizando as orientações técnicas do sistema de informação de serviço, o "SIS CATERPILLAR", o plano de manutenção foi atualizado. O mesmo orienta a necessidade de lubrificar a barra equalizadora após 250 horas de operação. Foi incrementada a rotina de lubrificação de campo via caminhão comboio, pois o mesmo somente reabastecia o equipamento, sem realizar a lubrificação. Com a melhoria da rotina de lubrificação do caminhão comboio, a equipe passou a verificar e lubrificar todos os pontos de lubrificação do trator de esteira, especialmente a barra equalizadora.

Antes da correção da rotina de lubrificação do caminhão comboio os equipamentos somente eram lubrificados nas manutenções preventivas no box de lubrificação, o que ocasionava um desgaste significativo na barra equalizadora. A lubrificação ineficiente ou até mesmo inexistente nas barras equalizadoras proporcionou danos conforme mostra a Figura 7a. Dado início ao reparo nas barras, conforme a programação semanal elaborada pelo programador de manutenção, a barra equalizadora e o alojamento de fixação do pino central foram mandrilados para remover o excesso de material depositado no processo de soldagem e voltar as suas medidas corretas de diâmetro e espessura, conforme o fabricante informa no SIS. Em alguns tratores houve a necessidade de reestruturação do alojamento de fixação do pino central da barra equalizadora localizado no chassi do equipamento. A Figura 7b mostra o processo de reforma concluído.

Figura 7 a) Barra equalizadora danificada; b) Barra equalizadora reformada.

Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Durante as manutenções preventivas de lubrificação, não era realizada a limpeza correta do equipamento, o que ocasionava a contaminação do lubrificante e ocultava vários pontos que necessitavam de lubrificação. Efetuada a limpeza correta do equipamento, houve a redução da contaminação dos lubrificantes e melhor visualização dos pontos de lubrificação. Além disso, foi elaborada uma apostila contendo informações técnicas sobre os pontos de lubrificação do equipamento trator de esteira D6T, indicando o ponto de lubrificação central da barra equalizadora, que era desconhecido por grande parte da equipe de lubrificação; e os pontos de lubrificação da junção da barra equalizadora e armação de roletes. Dentro do conteúdo técnico desta apostila contém informações orientando quais são os pontos e onde é necessário aplicação de lubrificantes sólidos e líquidos no equipamento, além da necessidade de realizar a limpeza da graxeira ou bocal de reabastecimento antes de realizar o procedimento de lubrificação dos equipamentos, principalmente da frota de tratores de esteira. Após a elaboração da apostila, realizou-se treinamento da equipe de lubrificação para aumentar o nível de qualificação técnica relacionado à lubrificação dos equipamentos e seus respectivos pontos de lubrificação. Assim suprindo as dúvidas relacionadas aos pontos de lubrificação e aplicação dos lubrificantes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de falhas identificou as principais causas que estavam proporcionando as constantes quebras por manutenção corretiva da barra equalizadora do equipamento trator de esteira Caterpillar D6T, que impactava diretamente na disponibilidade do equipamento para a operação e no orçamento da gerência de manutenção de equipamentos móveis de mina. Demonstraram como é essencial uma boa infraestrutura da gestão do processo de manutenção, na elaboração de um plano consistente que atenda corretamente a necessidade e a realidade da empresa nesse processo de manutenir os ativos.

Outro ponto demonstrado por meio da análise de falhas, foi como é necessária a qualificação da equipe para se alcançar os resultados almejados dentro do orçamento planejado. Pois, após a apresentação da apostila e treinamento prático e teórico para capacitação dos lubrificadores, foi aumentado o conhecimento sobre a necessidade de uma lubrificação correta dos tratores de esteira, diminuído a quebra do componente barra equalizadora e reduzido o número de paradas relacionadas ao componente.

Portanto, para conquistar os resultados almejados, a empresa deve investir tanto em uma boa gestão de manutenção, quanto em treinamentos para qualificação de seus colaboradores. A soma das duas vertentes resulta em custo satisfatório dentro do orçamento proposto, resultando em um desempenho satisfatório da frota.

REFERÊNCIAS

[1] BELINELLI, Marjore. Desenvolvimento de um sistema informatizado aplicado à gestão de planos preventivos de lubrificação industrial. 2011. 173 f. Dissertação (Título de Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

[2] CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas. São Paulo: Atlas, 2010.

[3] CARRETEIRO, Ronald Pinto; BELMIRO, Pedro Nelson A. Lubrificantes e lubrificação industrial. Rio de Janeiro: Interciência: Petrol, 2008. 505p.

[4] CUNHA, C.J. Modelos de gestão da qualidade I. SENAI – Universidade Federal do Paraná – Curitiba – 2001.

[5] FREITAS, Laís Fulgêncio. ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO EM UMA PEQUENA EMPRESA DO SETOR METAL MECÂNICO DE JUIZ DE FORA COM BASE NOS CONCEITOS DA MANUTENÇÃO PREVEN TIVA E PREDITIVA. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/mecanica/files/2016/07/TCC-La%C3%ADs-Fulg%C3%AAncio-Freitas.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2020.

[6] HISSA, Roberto. Tecnologia de graxas lubrificantes fundamentos. Rio de Janeiro: Texaco Brasil, 1991. 57 p.

[7] KARDEC, A., NASCIF, J. Manutenção: Função Estratégica, Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abraman. 3a edição, 2009.

[8] KUME, H. 11. Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade ed. São Paulo: Editora Gente, 1993. 245 p.

[9] LARANJA, Rafael Antônio Comparsi; AGUIAR, Felipe Gregory Cardozo; SOBRINHO, Mário Roland Sobczyk. Verificação do efeito de lubrificação em um sistema de transmissão por corrente. 7º CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, São Luís, 2012. 9p.

[10] LLEWELLYN, Paul. Even I Can Understand That! Equipment Lubrication. Uptime the magazine for maintenance reliability professionals, 33-35. (2011).

[11] MORAES, P. H. A. Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística. Taubaté: UNITAU, 2004.

[12] MONCHY, François. A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial. 1.ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987. 424 p.

[13] MOUBRAY, J. Manutenção Centrada em Confiabilidade. São Paulo: Aladon, 1997.

[14] PEREIRA, M. J. Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

[15] RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3. ed. São Paulo: Pini, 2007.

[16] SIS CATERPILLAR. Disponível em: https://sis.cat.com. Acesso em 14 de janeiro de 2020.

[17] SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard Gordon. Projeto de engenharia mecânica. 7.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p.

[18] SOUZA, Alien Vlgano; JONAS, Canesin Gomes; FERNANDES, Rodrigo Sorbo. Manutenção e Lubrificação de Equipamentos. Qualidade da mão de obra na manutenção. Faculdade de Engenharia de Bauru. 2010.

[19] TAVARES, Lourival. Administração Moderna da Manutenção. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Novo Polo Publicações, 1999.

[20] TEXACO. Fundamentos de lubrificação. [S.l.]: [s.n.], [1994]. 67 p.

[21] XENOS, Harilaus G. Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade. 1.ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998. 302 p.

Capítulo 4

Análise da influência da dosagem de reagente em coluna de flotação para o aumento da recuperação metalúrgica

Júlio Cesar de Paiva Domiciano
Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco
Fernando de Souza Santana
Grace Marisa Miranda de Paula

Resumo: A flotação é um dos processos de concentração mais utilizados na indústria mineral, possibilitando o aproveitamento de minérios complexos e/ou de baixo teor de forma econômica e com rendimentos satisfatórios. O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de uma parametrização da dosagem dos reagentes em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner). O foco foi aumentar a recuperação metalúrgica do processo atual de concentração. Nesse sentido, esta pesquisa é um estudo de caso realizado em uma empresa de mineração na região do Alto Paraopeba em Minas. Ela é caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, descritiva e exploratória. Com base no desenvolvimento do estudo, observou-se que a faixa ideal para se trabalhar na dosagem dos reagentes na flotação em coluna é acima de 1000g/t de amido e 40g/t de amina. Com esta parametrização se obteve os melhores resultados, com performasse que atingiu índices acima de 84,0% de recuperação metálica das partículas.

Palavras-chave: Flotação. Dosagem de reagente. Amido. Amina.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta muitas reservas de minério com alto teor de ferro. Entretanto, com o aumento da produção das mineradoras, muitas reservas perdem na qualidade no momento de sua exploração. Isso faz com que haja a necessidade de recuperar a qualidade dos produtos finais e muitas empresas buscam alternativas e estudos para resolver esse problema.

Vários são os processos existentes dentro de uma empresa de mineração, como extração, beneficiamento e expedição. Dentro do processo de beneficiamento encontra-se o processo de flotação, que é um subprocesso que busca melhorar a qualidade do produto.

Um dos grandes desafios das empresas de mineração é melhorar a eficiência do processo de flotação aumentando a recuperação metalúrgica de um processo de concentração. A melhoria desse processo é essencial pois reflete no aumento de capacidade de produção e qualidade dos produtos. O objetivo desse processo é aumentar a produção de carga metálica por unidade de minério alimentado.

Desta forma, constata-se a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de novas condições de dosagens de reagentes (amina/amido), para obter-se aumento da recuperação metalúrgica, tal que seja traduzida em maior margem de lucro, sem que se perca qualidade final do produto.

Para melhor entendimento, na empresa onde foi realizado esta pesquisa, o concentrado final (Pellet Feed - PF) é proveniente de dois fluxos, o concentrado do separador magnético proveniente dos finos do processo de deslamagem (7% da produção do PF) e o concentrado do processo de flotação em colunas (93% da produção do PF). Diante da grande contribuição do processo de flotação na produção, este projeto visa aumentar o desempenho desta etapa.

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco na melhoria do desempenho do processo atual.

A importância desse trabalho se dá pela necessidade de aumentar a recuperação metalúrgica do processo de concentração. Predizendo a dosagem de reagentes ótima para a máxima recuperação, mantendo-se como premissas os teores de ferro (Fe) e sílica (SiO2), melhor aproveitamento dos recursos minerais disponíveis, possibilitar o aumento da capacidade produtiva, redução na produção de rejeitos e maior flexibilidade operacional.

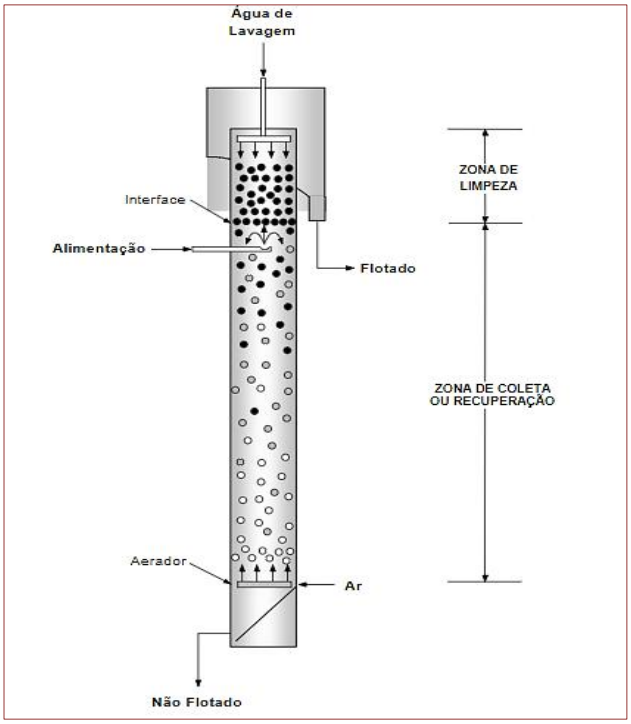
2. COLUNAS DE FLOTAÇÃO

As colunas de flotação foram patenteadas pelos canadenses Remy Trembly e Pierre Boutin, em 1961. Os primeiros ensaios em escala-piloto foram realizados por Boutin e Wheeler em meados de 1960. No Brasil essa novidade chegou em 1991, na Mina de Germano (Mariana, MG), da Samarco Mineração, aplicada na flotação do quartzo de minério de ferro. Porém, a flotação em coluna aplica-se na concentração de diversos minerais como nióbio, chumbo, cobre, zinco, prata, fosfatos, grafite, entre outros (CHAVES, 2013).

Queiroz (2003), citado por Santana (2007, p. 36), esclarece que este modelo de equipamento se aplica a diversos tipos de minério e sua importância pode ser observada através das melhorias significativas dos concentrados obtidos nas colunas em diversas unidades industriais. Devem, também, serem consideradas as melhorias no desempenho metalúrgico observando economia nos custos de capital e de operação. Fatores como esses tem sido de extrema relevância para que as colunas em processos de flotação sejam aplicadas, tanto para novos projetos, como para expansões industriais.

Entre uma grande diversidade de modelos, o modelo que mais se destaca nas indústrias é conhecido como coluna canadense. Neste equipamento é importante considerar dois territórios distintos, a zona de limpeza e a zona de coleta ou recuperação. Segundo Takata & Valle (2013), apud Gonçalves (2016, p. 19), o objetivo da zona de coleta ou zona de recuperação é realizar a coleta das partículas hidrofóbicas. Esta zona se situa entre a interface polpa/espuma e o sistema de aeração. Já a zona de limpeza ou camada de espuma situa-se entre a interface polpa/espuma e o transbordo e pode ter, ou não, a presença da água de lavagem. Na Figura 1, pode ser observado o funcionamento de coluna de flotação.

Figura 1 – Representação esquemática de uma coluna de flotação.



Fonte: Youg (1982)

2.1 REAGENTES

Os reagentes são essenciais para que os resultados no processo de flotação sejam eficientes. Baltar (2008), conceitua-os como compostos orgânicos e inorgânicos (composição química) que podem ser classificados em coletores, espumantes e modificadores ou reguladores (função no processo). Esses compostos têm como objetivo controlar as propriedades das interfaces envolvidas no processo para que ocorra um alto

índice de seletividade, propiciando, por exemplo, o controle da molhabilidade dos minerais, a aglomeração, a dispersão de partículas e a estabilidade das bolhas. Segundo ainda esse autor, a forma da bolha é variável:

- Esférica, no caso de um sólido hidrofóbico;
- Espalhada parcialmente na superfície do sólido, no caso desse ser menos hidrofóbico;
- Completamente espalhada como uma fina camada de água, no caso de partículas hidrofílicas.

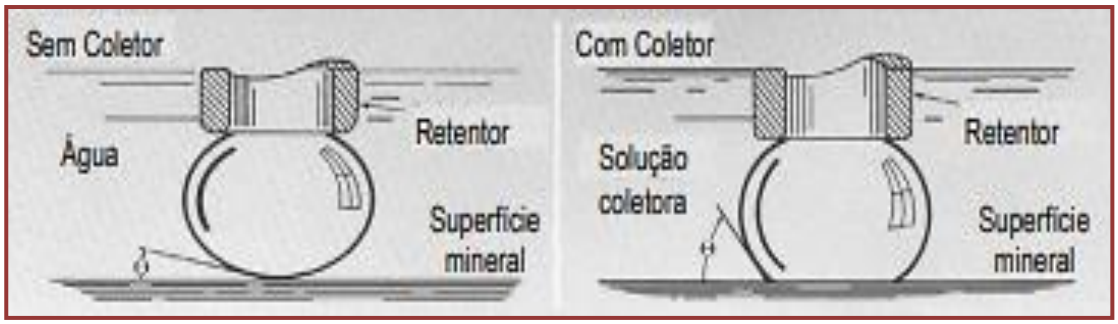
2.1.1. COLETORES

Os coletores são substâncias orgânicas, que têm como função alterar a superfície mineral que passa de condição hidrofílica para hidrofóbica. Esses reagentes atuam na interface sólido/líquido e apresentam composição molecular complexa constituída por uma parte polar (hidrocarboneto) e outra apolar, (CHAVES, 2013).

Baltar (2008) relata em seus estudos que a função da parte polar da molécula é interagir com a superfície da partícula mineral de maneira que ocorra a adsorção. A polaridade da molécula possui afinidade com o sólido e com a água, respectivamente e é o principal responsável pela seletividade do processo e pela intensidade da ligação com a superfície. A parte molecular que não apresenta polaridade pode ser dividida em aerofílica (afinidade pelo ar) e hidrofóbica (aversão à água), constituindo assim uma cadeia hidrocarbônica, que tem como objetivo promover a hidrofobicidade da superfície.

Analisando o contato bolha de ar/superfície do mineral em um sistema com a presença e a ausência desse reagente observa-se que no sistema em que o coletor não foi inserido, as bolhas de ar formam um ângulo de contato (θ) pequeno com a superfície do mineral, ou seja, a adsorção não ocorre de maneira significativa. No sistema, em que foram adicionados um agente coletor, forma-se um ângulo de contato significativo (θ), permitindo que as condições para que ocorra uma flotação eficiente aconteçam (DOW, 1981 apud LUZ et al., 2010, p. 496). A Figura 2 ilustra essa situação.

Figura 2 – Contato bolha de ar/superfície do mineral em um sistema com e sem coletor.



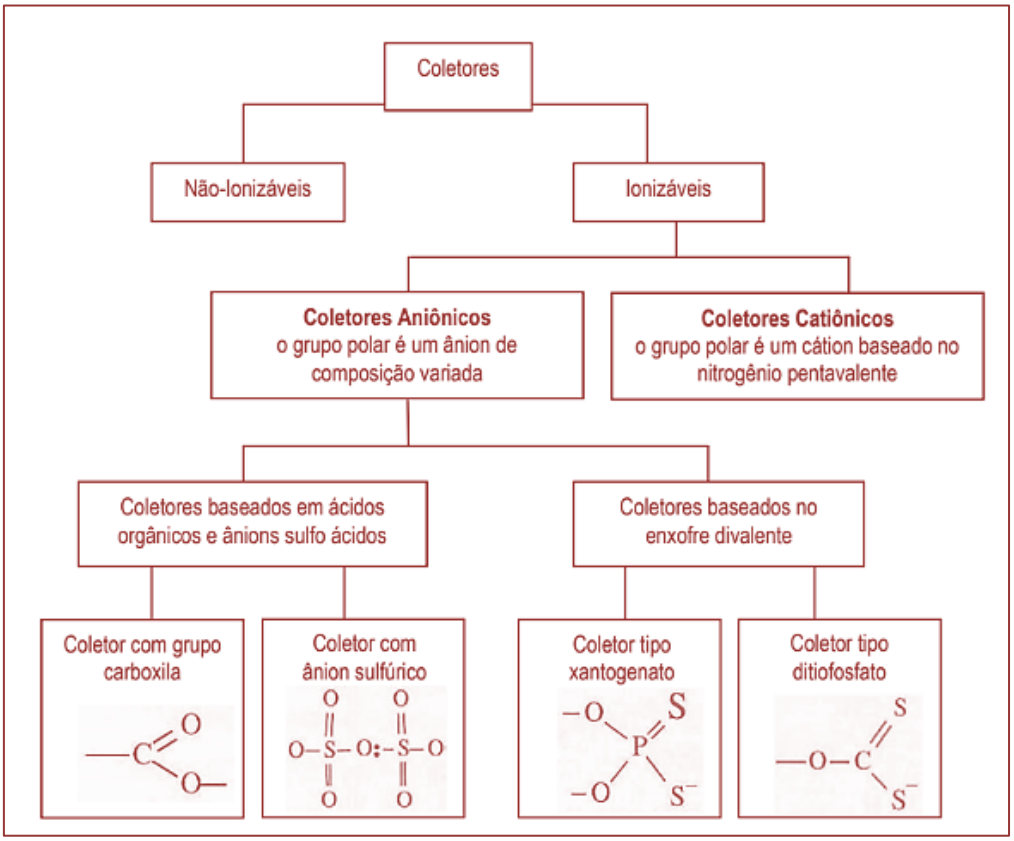
Fonte: Luz et al. (2010)

Esses reagentes na maioria dos casos são manufaturados a partir de matérias-primas naturais ou subprodutos de processos da indústria química, por esse motivo o seu preço e os custos de operação apresentam características compatíveis para o processo de flotação.

Luz et al (2010, p. 496) explica que "os coletores são distinguidos em função da sua carga iônica, podendo ser aniônicos ou catiônicos, conforme a carga elétrica do grupo polar, resultante da ionização da molécula".

A Figura 3 caracteriza os coletores utilizados na flotação, de maneira geral, em função da carga iônica da parte polar do grupo solidófilo (parte da molécula que se absorve na superfície do mineral) (BULATOVIC, 2007).

Figura 3 – Classificação geral dos coletores.



Fonte: Bulavotic (2007)

2.1.2. AMINAS

As aminas e seus derivados são os maiores representantes do grupo catiônico e podem ser classificadas em primárias, secundárias, terciárias e até quaternárias em função da quantidade de números de radicais hidrocarbonetos ligados ao átomo de nitrogênio (BALTAR, 2008; LOPES, 2013). Esses coletores são derivados da amônia (NH_3) e suas estruturas químicas são apresentadas no Figura 4.

Figura 4 – Estruturas químicas dos coletores catiônicos.

Coletor	Estrutura	Forma
Amina primária	$R\text{-}NH_2$	Sólida
Diamina primária	H R-N-C-C-CNH2	Sólida
Éter amina	R-O-C-C-C-NH2	Líquida
Éter diamina	H R-O-C-C-C-N-C-C-CNH2	Líquida
Condensado	H H H R-C-N-C-C-N-C-C-N-C-R ‖ ‖ O O	Sólida

Fonte: Prasad (992) apud Nascimento (2010, p.35)

Ferreira (2015) informa que a obtenção das aminas ocorre a partir de álcoois e ácidos graxos. As que possuem grande aplicação estão compreendidas entre seis e vinte carbonos. As de cadeias inferiores a seis não apresentam atividade superficial suficiente para se adsorverem nas partículas e aquelas com cadeias superiores a vinte carbonos são excessivamente insolúveis em água.

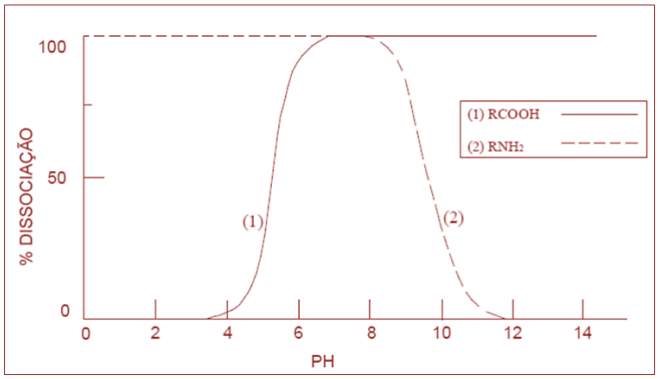
A adsorção desse coletor e seus derivados na superfície mineral ocorre por dois mecanismos (BARBOSA & BALTAR, 2012; (SOMASUNDARAN & RAMACHANDRAN, 1988 apud FURTADO, 2017, p. 23):

- Atração eletrostática: quando a superfície do mineral é negativa e o grupo funcional positivo. As moléculas atuam como contra-íons e as aminas devem estar na sua forma neutra, se posicionando entre as espécies carregadas
- Interações intermoleculares laterais entre as cadeias hidrocarbônicas e que interagem por forças de Van der Walls. Acontece com o aumento da concentração de coletor e formação de hemimicelas. Este tipo de interação complementará o filme hidrofóbico formado na interface da partícula mineral.

Segundo Monte e Peres (2004) *apud* Ferreira (2015, p. 35) a solubilidade não depende apenas do tamanho da cadeia e da presença do grupo éter, mas também da neutralização parcial da amina. As aminas primárias e as éter aminas apresentam grau de neutralização variável. O ácido acético, por razões econômicas, é o mais utilizado para realizar a neutralização resultando em acetatos das aminas. Normalmente os produtos industriais são comercializados com graus de neutralização de 25 a 30%. Embora a neutralização seja necessária para melhorar a solubilidade do coletor, graus de neutralização elevados podem reduzir o índice de remoção de quartzo na espuma.

As aminas primárias por serem bases fracas sofrem grande influência da ação do pH. Em determinadas faixas de pH este reagente dissocia-se na forma iônica ou molecular, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Curvas de dissociação (esquemáticas) para amina.



Fonte: Peres (2012) apud Viana (2013, p.27)

Verifica-se que até o valor de pH 9,0 as aminas estão sob a forma iônica (RNH3+). Esta forma é responsável pela adsorção na superfície dos minerais. Na faixa de pH 9,0 a 11,0 existem tanto a forma iônica quanto à forma molecular (RNH2). Nesta situação é possível a coleta dos minerais através da forma iônica e a formação de espuma através da adsorção da amina molecular na interface líquido/gás.

2.1.3. MODIFICADORES OU REGULADORES

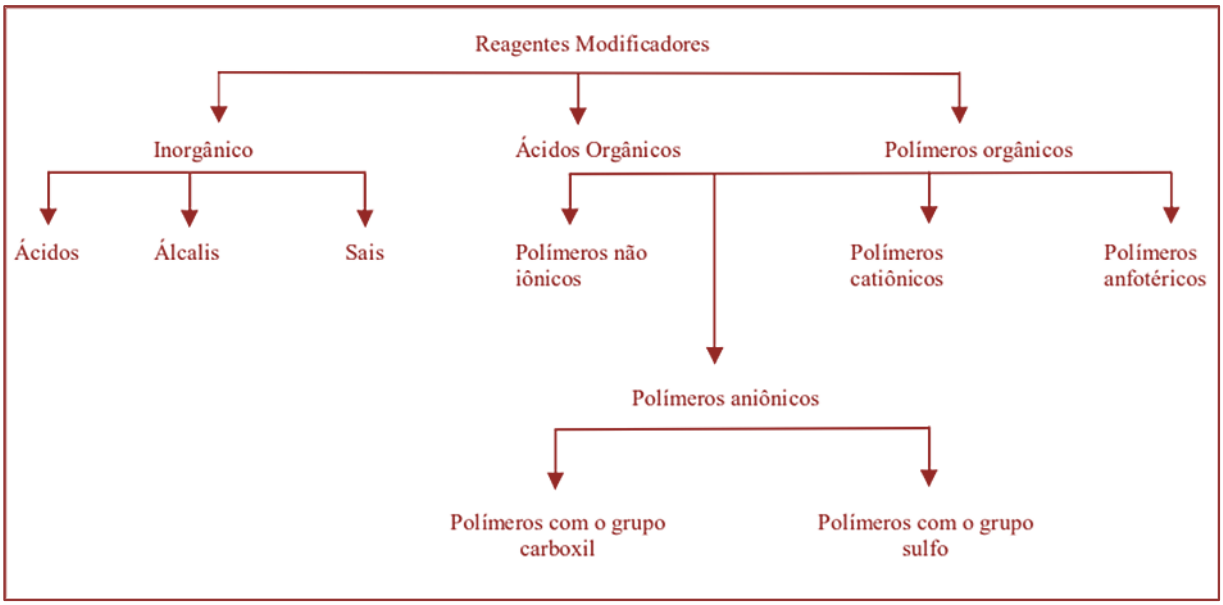
Os modificadores ou reguladores são reagentes que atuam tanto na interface sólido/líquido como no seio da solução (bulk) e podem ser classificados em (RAO, 2004 apud BROD, 2012, p. 14):

- Ativadores: são sais inorgânicos que interagem com a superfície mineral, alterando sua natureza química promovendo sua interação com o coletor;
- Depressores: O controle da concentração de depressores é um relevante parâmetro na flotação seletiva. Estes reagentes são sais ou polímeros que alteram a superfície mineral com o objetivo de prevenir ou retardar a ação dos coletores e são exigidos para deprimir certos minerais e, assim, favorecer a flotação seletiva. Neste caso, os depressores competem com o coletor nos sítios da interface sólido/líquido reforçando a hidrofilicidade dos minerais que não se deseja flotar;
- Reguladores de pH: este reagente inorgânico tem como principal objetivo realizar o controle de pH. Quando os reguladores são adicionados, o coletor somente adsorve nas partículas que são direcionadas para a recuperação do mineral. Quando existe variação dos íons de hidrogênio na polpa, o pH tende a aumentar ou diminuir, ajudando na interação entre o coletor e o mineral e reduzindo a interação entre o coletor e demais minerais indesejáveis;
- Dispersantes: dispersa as partículas finas.

Baltar (2008), chegou à conclusão de que a função básica desses compostos é propiciar a mudança na ação do coletor nas superfícies das partículas minerais. Estes compostos químicos são utilizados para aumentar a seletividade na separação, como é o caso dos depressores e reguladores de pH.

Segundo Bulatovic (2007), os reagentes modificadores também podem ser classificados como inorgânicos (ácidos, álcalis e sais de metais) e modificadores orgânicos (polímeros orgânicos e ácidos orgânicos), como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Classificação dos reagentes modificadores.



Fonte: Bulatovic (2007)

No processo de concentração de minérios de ferro por flotação o amido é o reagente depressor mais utilizado na indústria, por razões econômicas e por sua eficácia.

2.1.4. AMIDO

Ferreira (2015), conceituou o amido como um depressor orgânico que possui grande aplicação na indústria para óxidos de ferro, na flotação catiônica reversa, devido a sua eficiência e disponibilidade. Este reagente pode ser extraído de vegetais como milho, arroz, mandioca, batata, trigo entre outras fontes. Consiste exclusivamente de glicopiranoses que é formada por duas frações principais:

- Amilose: polímero linear com disposição helicoidal;
- Amilopectina: polímero com estrutura ramificada que pode diferir de acordo com a maneira em que o amido é produzido.

Segundo Bulatovic (1999) citado por Andrade (2010, p. 33), o amido só se torna útil à flotação quando são introduzidos em sua cadeia modificadores no momento da fabricação (aldeídos e álcoois terminais), que tem como objetivo indicar o nível de oxidação e o tipo de agente oxidante deste amido. Quando esse reagente não sofre nenhuma modificação a solubilidade fica extremamente baixa em água fria, não sendo eficiente para o processo. Para que esse depressor possa ser utilizado obtendo resultados significativos, é necessário que ocorra a gelatinização, que consiste na capacidade que os grânulos de amido possuem de absorver água, quando molhados ou expostos à umidade.

Esse processo de gelatinização é realizado por efeito térmico ou por adição de soda cáustica. Quando são aquecidos os grânulos de amido em excesso de água, rompem à estrutura cristalina. As moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxil. Como consequência ocorre um aumento no inchamento, potencializando a solubilidade do reagente (SINGH et al., 2003 apud FURTADO, 2017, p. 25).

No processo com soda cáustica, é necessário adicionar a soda em uma quantidade que parte fique em solução e a outra parte seja adsorvida pelo amido em certa concentração (BOBBIO & BOBBIO, 1995).

3. O ESTUDO DE CASO

Esta pesquisa é um estudo de caso realizado em uma empresa de mineração na região do Alto Paraopeba em Minas. Ela é caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, descritiva e exploratória com o objetivo de realizar uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco em aumentar a recuperação metalúrgica do processo atual de concentração sem que ocorra perda de qualidade do produto final. O estudo foi desenvolvido período de fevereiro a outubro de 2022.

A análise técnica foi realizada por meio de testes de bancada em laboratório, simulando a rota de flotação de minério de ferro. Após a liberação dos resultados químicos das amostras analisadas foram verificadas as recuperações metálicas alcançada com as dosagens pré-estabelecidas.

Os dados da pesquisa são de natureza qualitativa e quantitativa. Os dados qualitativos foram utilizados para descrever e explicar o processo de análise. Já os dados quantitativos foram obtidos nos resultados dos testes, esses foram tratados por meio de estatística descritiva. Para isso foi utilizado o sistema MINITAB, que é um software de tratamento de dados estatísticos.

Por fim, foi realizada uma análise de conteúdo para obter as conclusões do estudo.

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

A linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento do teste foi o software MINITAB, por se mostrar eficiente quanto aos recursos necessários à realização e apresentação dos cálculos referentes a melhor dosagem a ser utilizada para alcançar a maior recuperação metalúrgica.

3.1.1. PLANEJAMENTO FATORIAL – DOE

O design de experimentos (DOE) é definido como um ramo da estatística aplicada que lida com o planejamento, a condução, a análise e a interpretação de testes controlados para avaliar os fatores que controlam o valor de um parâmetro ou grupo de parâmetros. O DOE é uma poderosa ferramenta de coleta e análise de dados que pode ser usada em diversas situações experimentais.

Ele permite que vários fatores de entrada sejam manipulados, determinando seu efeito em uma saída (resposta) desejada. Ao manipular várias entradas ao mesmo tempo,

o DOE pode identificar interações importantes que podem ser perdidas ao experimentar um fator por vez. Todas as combinações possíveis podem ser investigadas (fatorial completo) ou apenas uma parte das combinações possíveis (fatorial fracionário).

Nesse processo, uma ferramenta que a empresa utiliza é o sistema MINITAB para gerar os valores de combinação a serem avaliados.

3.1.2. EXECUÇÃO DOS TESTES

Os testes foram realizados no laboratório em escala de bancada onde é possível simular as colunas de flotação. Os reagentes amina e amido, foram preparados dosado conforme o planejamento DOE.

3.1.2.1. ENSAIO DE FLOTAÇÃO EM BANCADA

Adicionou-se cuba com volume útil de flotação em bancada 2500g de minério de tal forma que 100% passante em peneira de 150 mesh. Adicionou-se aproximadamente 1230 ml de água para que o percentual de sólidos em massa seja em torno de 65%. Agitou-se por 2 minutos. Adicionou-se em seguida 1000 g/t de depressor (amido de milho) ou 83,33 gramas da solução do depressor. Inseriu a solução de soda cáustica a 50% até pH da polpa estar entre 9,80 a 10,0 e deixou-se condicionar por 5 minutos. Adicionou-se 45 g/t de coletor ou 3,21 gramas. Condicionou por mais 1 minuto. Em seguida inseriu água até o limite da cuba, de modo que o percentual de sólidos fique próximo de 50%. Adicionar solução de soda cáustica a 50% até pH da flotação estar entre 9,80 a 10,0. Em seguida foi aberto o fluxometro em 3 L/min, flotar por 6 minutos conforme figura 7. Esta etapa chamamos de rougher. Coletar este flutuado denominado de rejeito rougher. O afundado rougher é o que chamamos de concentrado. Secar os produtos, pesar e enviar para análise química.

A Figura 7 ilustra célula de flotação em bancada.

Figura 7 – Ensaio de flotação.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Verifica-se por meio da foto posicionada a esquerda da figura 7, que ao adicionar os reagentes, o concentrado de cor mais marrom, apresenta maior concentração de ferro.

3.1.2.2. PREPARAÇÃO DE REAGENTES

Nessa etapa, apresentam-se o amido, amina como reagentes do processo flotação.

3.1.2.2.1. AMIDO

Preparou-se o depressor em uma relação Amido x Soda (NaOH) de 6:1, ou seja, a cada 6g de amido 1g de Soda a 100%. Ele é gelatinizado na concentração de 10%, mantendo agitação por 10 minutos e em seguida diluído para 3%.

3.1.2.2.2. AMINA

Preparou-se o coletor a uma concentração de 3,5%, e agitou-se manualmente com auxílio de uma espátula, até diluição completa em água.

3.1.2.3. ANÁLISE DE EXPERIMENTO FATORIAL

Experimento Fatorial para avaliar a melhor combinação entre amina-amido para alcançar melhor recuperação de ferro, foram gerados uma combinação de 9 testes, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Experimento Fatorial

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	OrdemPad	OrdemEns	TipoPt	Blocos	Amina	Amido
1	6	1	1	1	60	600
2	4	2	1	1	40	1000
3	7	3	1	1	60	800
4	1	4	1	1	40	400
5	8	5	1	1	60	1000
6	2	6	1	1	40	600
7	3	7	1	1	40	800
8	5	8	1	1	60	400

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Através das análises de dados, otimizando as respostas de recuperação metalúrgica e mássica (mantendo a qualidade do concentrado), chegou-se na melhor combinação de fatores, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Combinação de Fatores.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A cada 100 g/t de redução na dosagem, se perde aproximadamente de 2 a 3% de recuperação metalúrgica, faixa ótima de dosagem: 840 a 1000 g/t.

3.1.2.4. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os resultados das análises químicas das amostras utilizadas nos testes apresentados na Quadro 2.

Quadro 2 – Composição química amostra da alimentação

Pilha	Fe (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Mn (%)	P (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO_2 (%)	PPC (%)
P08	42,82	36,18	0,84	0,041	0,026	0,025	0,000	0,088	0,84
P09	41,18	36,56	0,86	0,068	0,033	0,026	0,004	0,085	1,14
P10	39,43	40,60	0,76	0,162	0,028	0,030	0,002	0,103	1,08
P11	40,29	38,87	0,78	0,076	0,025	0,024	0,000	0,076	0,94
P12	45,92	30,80	1,21	0,062	0,033	0,021	0,016	0,109	1,34
P13	43,05	37,63	0,87	0,168	0,027	0,024	0,018	0,111	1,36

Fonte: Dados pesquisa (2022)

3.1.3. RECUPERAÇÃO METALÚRGICAS

Foi realizado estudo em escala de bancada, onde o trabalho entregue foi um modelo para predizer a dosagem ótima de reagentes para obtenção da máxima

recuperação, mantendo-se como premissa os teores de Fe(%) e SiO_2 no concentrado em que se trabalhava apenas com dosagens padronizadas. Conforme mostrado na Quadro 3.

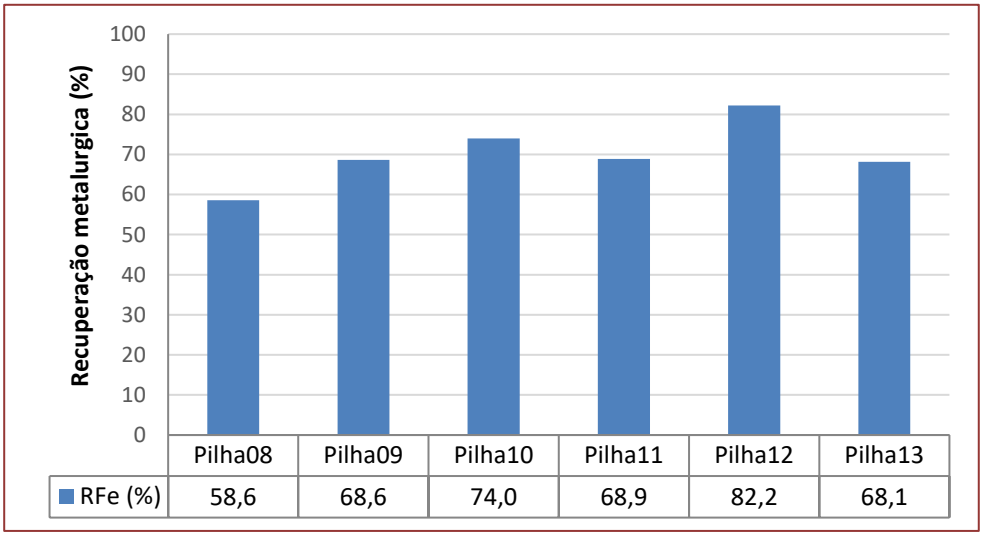
Quadro 3 – Dosagem de reagente – Antes do Estudo

Dosagem de Amido	**700**	g/ton
Dosagem de Amina	**40**	g/ton alim.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O Gráfico 1 apresenta os valores obtidos nos cálculos das recuperações metalúrgicas com as dosagens padrão.

Gráfico 1 – Recuperação Metalúrgica Antes da alteração de dosagem.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

3.1.4. RESULTADOS DOS TESTES EM ESCALA DE BANCADA COM DOSAGENS PRÉ-DEFINIDAS

Levando em consideração os teores de ferro e sílica para se calcular a quantidade para melhor performance, obteve-se as melhores dosagens conforme demonstrados na Quadro 4:

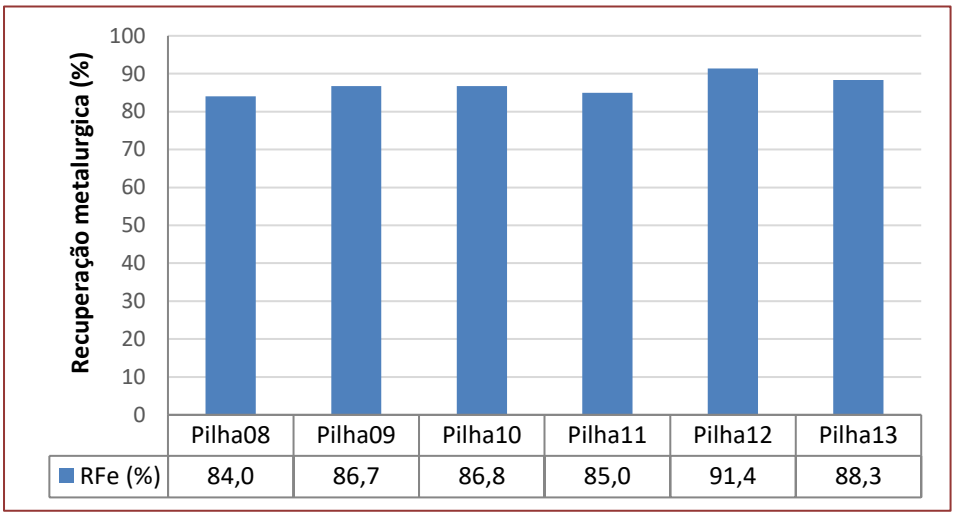
Quadro 4 – Dosagem de reagente – Após Estudo

Dosagem de Amido	**1000**	g/ton
Dosagem de Amina	**40**	g/ton alim.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O Gráfico 2 apresenta os valores obtidos nos cálculos das recuperações metalúrgicas com as dosagens padrão.

Gráfico 2 – Recuperação Metalúrgica com dosagens predefinas.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Considerando a faixa de trabalho ideal que se encontra entre o patamar de 84% de recuperação, observou-se que a melhor faixa de trabalho é 1000g/t de amido e 40g/t de amina, alcançado meta desejada de recuperação metalúrgica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizou uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco no aumento da recuperação metalúrgica do processo atual de concentração.

Com base nos estudos observou-se que a faixa ideal para ser trabalhar na dosagem de reagente é acima de 1000g/t de amido e 40 g/t de amina no qual se obteve os melhores resultados. Com destaque para P12 com teor de ferro 45,92% que apresentou 91,4% de recuperação metalúrgica.

Nos ensaios que foram executados na faixa de dosagem compreendida 700g/t de amido e 40g/t de amina e onde a dosagem foi padrão não se alcançou uma boa recuperação metálica.

Conclui-se que nos testes realizados com dosagem 1000g/t de amido e 40 g/t de amina houve uma excelente performance atingindo o patamar acima de 84,00% de Recuperação metálica. das partículas.

Em função das características distintas dos tores, sugere-se avaliação de processos de flotação, verificando-se se o retorno econômico e viável, uma vez que gasto com reagentes irão aumentar.

REFERÊNCIAS

[1] ALEXANDRINO, J. S.; BUSSULAR, D. P. et al. Influência de reagentes de flotacão no potencial zeta da galena e esfalerita. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA. n. 23. 2003. Gramado, Rio Grande do Sul. p. 377-383.

[2] ALMEIDA, C. M. R. A flotação de minérios de ferro de baixo teor no Brasil: uma revisão. 2013. 28p. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

[3] BALTAR, C. A. M. Flotação no tratamento de minério. Recife: [s.n.], 2008.

[4] BARBOSA, J. L. O; BALTAR, C. A. M. Influência do tamanho da partícula na flotação com amina. Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, HOLOS, 2012. Vol. 5. p. 93-100.

[5] BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Química do processamento de alimentos. 2 ed. São Paulo: Varela, 1995. p. 151.

[6] BULATOVIC, S. M. Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice; flotation of sulfide ores. Amsterdam: Elsevier, 2007. Vol. 1. 446 p.

[7] CHAVES, A. C. Teoria e prática do tratamento de minérios: A flotação no Brasil. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Vol. 4. 511 p.

[8] FERREIRA, C. R. N. Métodos de flotação de minério de ferro. 2015. 52p. Monografia, Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

[9] FURTADO, R. M. Estudo acerca dos reagentes na flotação catiônica reversa de minério de ferro: Recirculação de amina e degradação do amido. 2017. 54p. Monografia - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2017.

[10] LOPES, G. M. Coletores potencialmente seletivos na separação de apatita, calcita e dolomita. 2013. 162p. Tese de Doutorado, Tecnologia Mineral - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

[11] LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de Minérios. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932 p.

[12] REIS, A. S. Estudo da geração de bolhas de diversos tamanhos em coluna de flotação. 2015. 112p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

[13] SANTANA, R. C. Análise da influência do tamanho da partícula na flotação da apatita em coluna. 166p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

[14] SILVA, A. Q. N. Modelagem da relação teor-recuperação da célula de flotação pneumática. 2015. 121p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

[15] SILVA, C. A. Aminas na flotação de minério de ferro. 2013. 60p. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

[16] WILLS, B.A., NAPIER-MUNN, T. J. Mineral Processing technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007, p. 267–352.

[17] Wheel,donald J (2000) Understanding Variation:The Key To Managing Chaos.SPC Press – Planejamento fatorial.

Capítulo 5

Análise do processo de dessulfuração: Um estudo de caso para identificar as não conformidades e propor medidas de controle

Arthur da Silva Fernandes
Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco
Fernando de Souza Santana
Luciano Rodrigues do Anjos

Resumo: Uma das etapas da siderurgia para a produção do aço é a aciaria, que possui máquinas e equipamentos que vão transformar o ferro gusa em aço. O ferro gusa possui em sua composição impurezas como o enxofre, sua retirada é feita pelo processo de dessulfuração. Nesse contexto, esta pesquisa teve como o objetivo de identificar não conformidades no processo de dessulfuração e apresentar medidas para neutralizá-las. Desta forma, esta investigação é um estudo de caso, que foi realizado em uma empresa siderúrgica localizada na cidade de Ouro Branco -MG. Ela possui características bibliográfica, descritiva, explicativa e exploratória, com dados qualitativos e quantitativos. Por meio do desenvolvimento deste estudo, foram identificadas não conformidades como entupimento de linhas, falha de válvulas, dificuldade nas especificações de cal e magnésio, vazamentos de nitrogênio por toda a planta além de compactação dentro dos vasos. Como medidas de controle foram propostas capacitação de operadores, planos de manutenção, disponibilidade de peças sobressalentes, sistema de vibração dos silos e grupo de melhoria continua.

Palavras-chave: Dessulfuração. Não Conformidades. Medidas de controle. Enxofre. Ferro Gusa

1. INTRODUÇÃO

A siderurgia é considerada um dos principais segmentos da metalurgia. Área dedicada a produção do ferro fundido e tratamento de aço. O aço possui propriedades como resistência a altas temperaturas, durabilidade e baixo custo de manutenção. Ele é usado nas diferentes áreas produtivas como a automotiva, transportes, construção civil e outras.

Em uma das etapas da siderurgia para a produção do aço está a aciaria que possui máquinas e equipamentos que vão transformar o ferro gusa em aço. Para que isso aconteça é necessário que haja o refino primário na qual é retirado alguns componentes como silício, manganês, enxofre e principalmente o carbono. Já no refino secundário são feitas correções mais especificas, fazendo a correção de outros elementos químicos com adição de ferro-ligas. O equipamento comumente utilizado para essas correções é o Forno-Panela. Após esse momento, o aço líquido é solidificado via lingotamento convencional ou lingotamento contínuo que geram a matéria prima para a etapa seguinte da siderurgia nomeada laminação.

O ferro gusa, matéria prima foco desse estudo, possui em sua composição ferro, carbono, silício, manganês, enxofre, fósforo, sendo as principais impurezas o carbono, enxofre e o fósforo. Sua obtenção é através do Alto Forno no qual é produzido com minério de ferro aglomerado em forma de sínter ou pelotas, adição de fundentes além do uso de coque metalúrgico.

O enxofre é necessário quando se procura fabricar aços de corte fácil para fabricação em série de peças. Entretanto os aços que possuem baixos teores de enxofre têm-se refletido em melhores valores de mercado devido ao seu alto nível de resistência mecânica na aplicação.

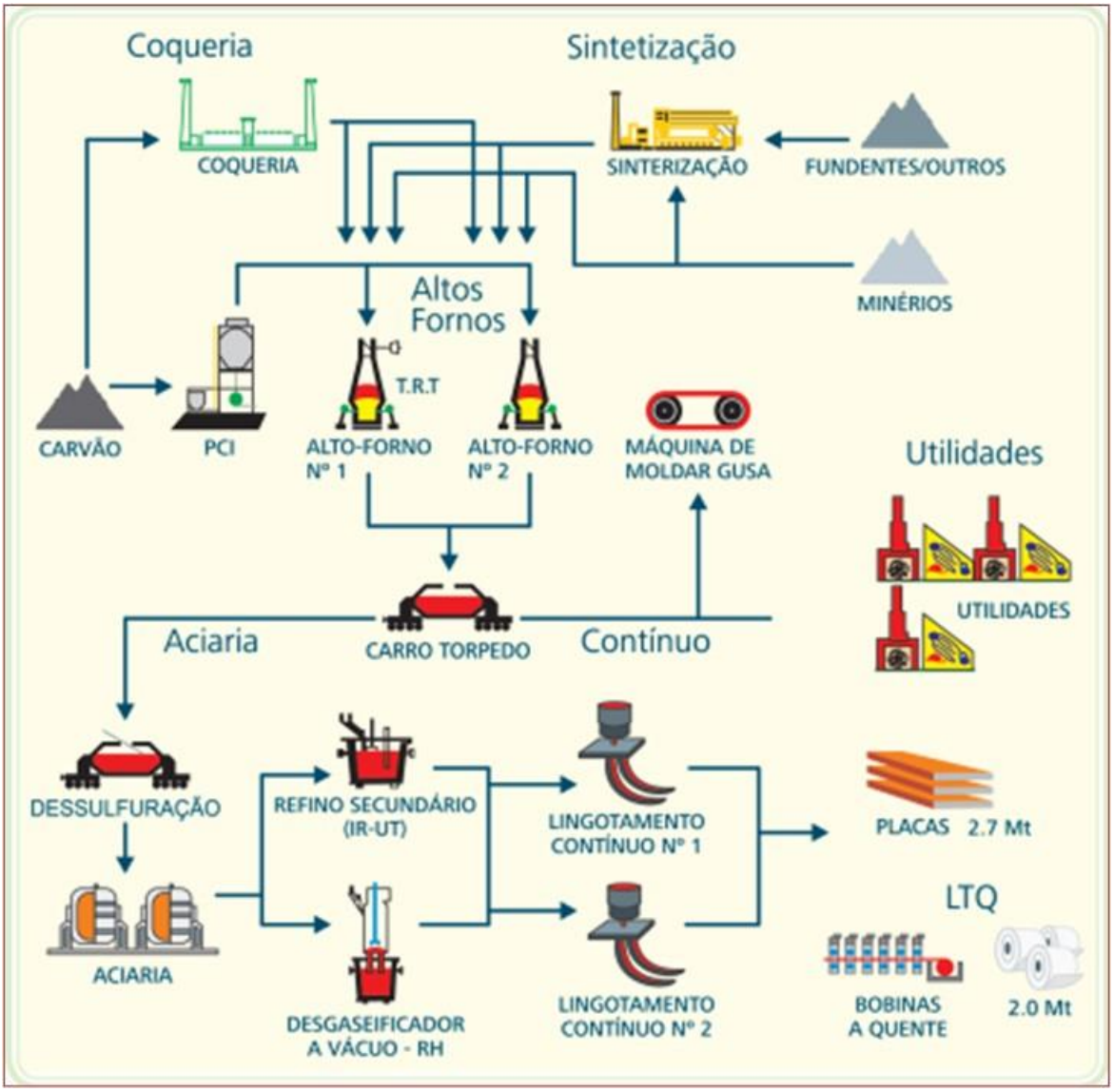
Sendo assim, para a retirada do enxofre, ainda como gusa, utilizam-se equipamentos de dessulfuração. Esses equipamentos tem potencial de trabalharem altos níveis de enxofre e entregarem ao gusa com valores mínimos. As possibilidades de dessulfuração vão de tratamentos ainda nos carros torpedos - utilizados para transporte de gusa - ainda podendo ser tratado diretamente nas panelas com revestimento refratário. Nesse último, ainda pode ser dessulfurado através de inserção de lança de injeção, ou através do equipamento Kambara Reator (KR).

Dentro deste cenário, na empresa onde esta pesquisa foi realizada, encontram-se dificuldades de se utilizar as plantas de dessulfuração de forma eficiente, sem que gere atrasos de produção. Então este trabalho tem por motivação identificar não conformidades no processo dessulfuração e apresentar medidas para neutralizar as não conformidades.

2. USINAS SIDERÚRGICAS

As usinas siderúrgicas integradas possuem a capacidade de produzir aço, iniciando seu processo a partir do recebimento de minério de ferro, passando pela coqueria, sinterização, alto forno, aciaria e laminações dentro de uma mesma unidade. A Figura 1 ilustra o processo siderúrgico integrado.

Figura 1 – Fluxograma do Processo Siderúrgico integrado.



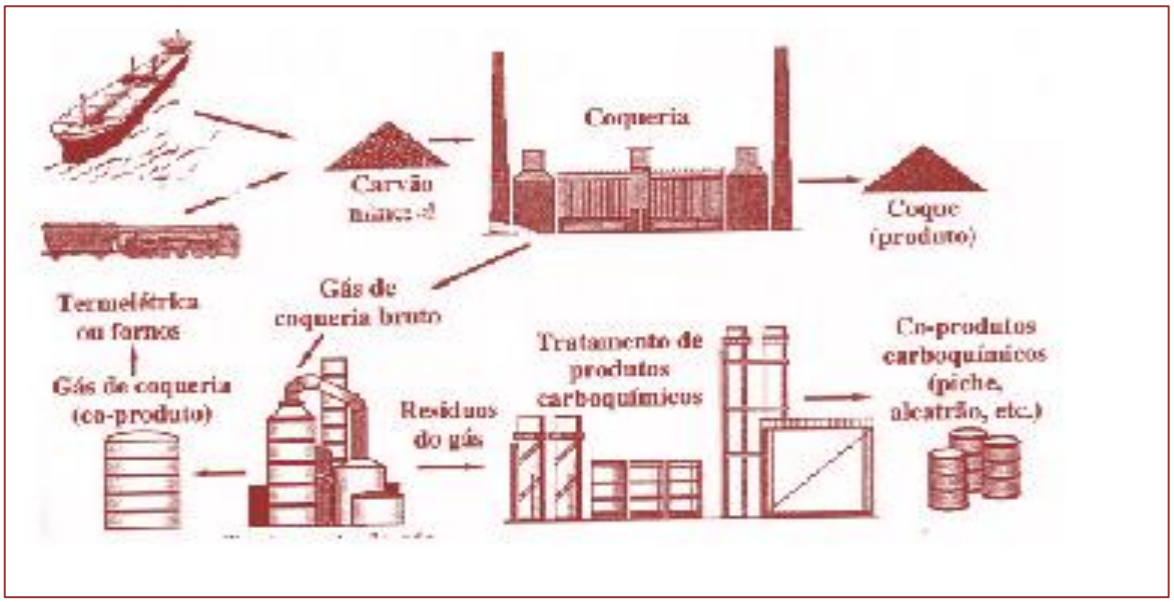
Fonte: Silva (2011)

2.1. COQUERIA

O coque é obtido através do processo de "coqueificação", que consiste no aquecimento do carvão mineral em câmaras fechadas, dispostas de diversas baterias de fornos individuais de destilação na ausência de oxigênio. Após esse processo, o coque é descarregado em altas temperaturas e resfriado bruscamente com água ou nitrogênio.

Silva (2011), informa que a produção do coque metalúrgico gera diversos subprodutos, e um dos mais úteis dentro da usina, está o gás de coqueria. Esse combustível pode ser utilizado para aquecimento da própria coqueria, assim como pré-aquecimento de ar no alto forno e nos fornos de aquecimento. A Figura 2 apresenta as etapas da produção do coque.

Figura 2 – Fluxo de produção de coque.



Fonte: Villanova, (2010)

2.2. SINTERIZAÇÃO

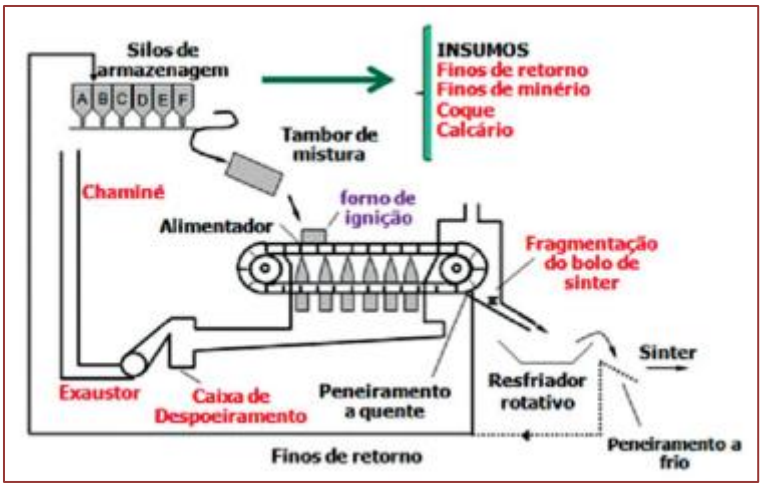
"A sinterização é um processo de aglomeração dos minérios de ferro que emprega o chamado *sinter feed*, minério com granulometria entre 0,1 a 9,5 mm" (MOURÃO 2007). Dentro dessa aglomeração, ainda incluem outros fundentes e adições e seu produto final é o sínter.

O processo se inicia na dosagem das matérias primas de fina granulometria que passa por um misturador e com adição de água, formam pequenas pelotas. Essa mistura é colocada em esteira de grelhas e levada a altas temperaturas, em torno de 1200º C, iniciando assim o processo de sinterização. Essas pelotas são aquecidas por uma frente de combustão, alimentada por ar succionado ao longo do leito.

Silva (2011) esclarece que o fim da etapa de sinterização termina com o resfriamento da massa sinterizada, que será britada e peneirada, formando assim o material sínter que será utilizado no alto forno.

O fluxograma da etapa de sinterização pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxo de produção de sínter.



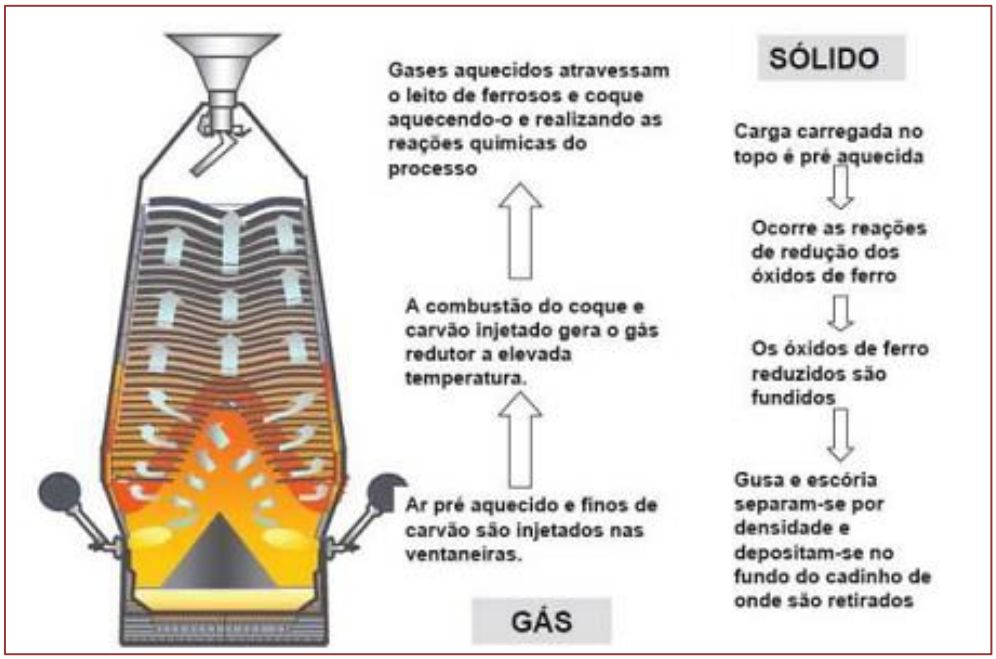
Fonte: Silva, (2007)

2.3. ALTO FORNO

O alto-forno é um reator térmico no qual a carga sólida é descendente e os gases redutores ascendentes. É um equipamento contínuo e seu funcionamento é ininterrupto por anos. (GOMES 2015). O alto forno tem função principal a produção do ferro gusa, que é a matéria prima do aço.

O fluxo de materiais dentro de um alto forno pode ser observado na figura 4.

Figura 4 – Fluxo de materiais dentro do alto forno.



Fonte: Gomes, (2015)

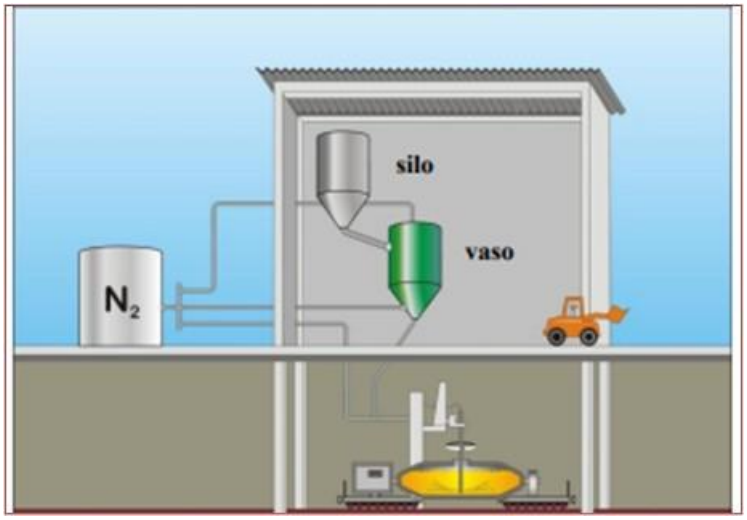
2.4. ACIARIA

Segundo Mourão (2007), a aciaria é o setor da usina siderúrgica que faz a transformação do ferro gusa em aço líquido, e posteriormente em produto semi acabado, sendo eles: placa bloco e tarugo. Na aciaria o gusa/ aço passam por alguns tratamentos na qual necessitam de retirada ou inclusão de elementos químicos. Para retirada de enxofre é utilizado alguns equipamentos de dessulfuração, já para a transformação do gusa em aço o equipamento utilizado é o conversor. Para tratamento do aço, já no refino secundário são utilizados os fornos de panela, RH e estação de borbulhamento, até que o aço chegue as torres de lingotamento no qual passaram pela sua conformação mecânica.

Segundo Silva (2012), o objetivo principal da dessulfuração é fazer com que o enxofre encontrado no gusa seja retirado em forma de escória que ficará por cima do banho de gusa e posteriormente removido por uma pá refratária, fazendo-se assim eficiente o processo podendo ser passado para a etapa seguinte do processo produtivo de aço.

Na Figura 5, pode ser observado um desenho esquemático de dessulfuração em carro torpedo.

Figura 5 – Desenho esquemático de dessulfuração em carro torpedo.



Fonte: Silva (2012)

O tratamento em carros torpedos consiste na adição de um material dessulfurante que é avaliado de acordo com a necessidade da empresa. Por meio de uma lança refratária, o material é arrastado através de um vaso que é pressurizado com nitrogênio. Nesse processo tem-se uma perca significativa de temperatura do gusa, e com isso pode acarretar em formação de cascão no torpedo, diminuindo a capacidade de carga do carro torpedo. Além disso, é necessário um tempo elevado de tratamento girando em torno de 30 a 60 minutos, de acordo com o teor de enxofre contido no ferro gusa. Outro ponto relevante é o fato de não ser possível a retirada de escoria no torpedo, fazendo com que exista possibilidade de reversão de enxofre no metal. Sendo assim, é entendido como um equipamento de dessulfuração emergente, sendo usado em necessidades extremas. (SILVA, 2012)

3. O ESTUDO DE CASO

Em se tratando dos meios de pesquisa, este trabalho se qualifica como bibliográfico devido ao uso de literaturas existentes voltado para a área de usina siderúrgica, com detalhamento em uso de equipamentos de dessulfuração de ferro gusa, sendo utilizados artigos, livros e documentos internos da empresa.

O estudo de caso foi realizado em uma empresa siderúrgica localizada na cidade de Ouro Branco-MG, com o objetivo de identificar não conformidades no processo dessulfuração e apresentar medidas para neutralizar as não conformidades.

Ainda quanto aos procedimentos, foi feito um questionamento com colaboradores da célula que também fazem uso dos equipamentos, para entender a melhor forma de sua utilização.

Quanto a abordagem se caracteriza como qualiquantitativa, pois se utilizou de dados gerados a partir do questionamento, visando a melhor forma de utilizar os equipamentos de dessulfuração.

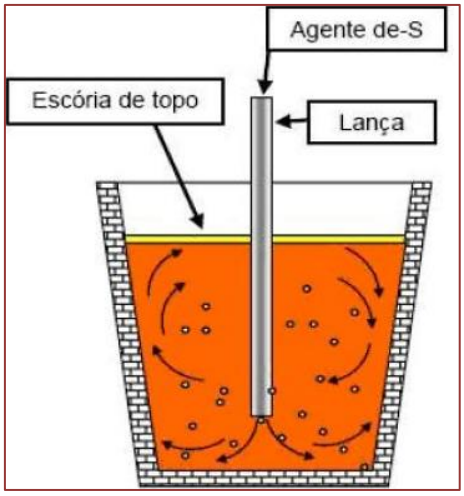
Quanto aos objetivos se caracterizam como descritiva, pois descreve a logística da dessulfuração no processo. Caracteriza-se também como exploratório, visto que se pretende gerar maior familiaridade para todos aqueles que necessitam da utilização desses equipamentos.

3.1. DESSULFURAÇÃO EM PANELA

O processo de dessulfuração, na empresa onde foi realizada esta pesquisa, acontece em panelas refratárias onde é pesado o produto, após o ferro gusa sair do alto forno. Nesse processo é injetado um material dessulfurante normalmente a base de cal, com opção de inclusão de magnésio e carbureto de cálcio. A injeção pode ser por lança refratária, ou pelo agitador, no qual é inserido no banho de gusa e faz-se uma mistura por rotação do gusa.

A Figura 6 apresenta um desenho esquemático de dessulfuração em panela.

Figura 6 – Desenho esquemático de dessulfuração em panela.



Fonte: Cardoso Filho (2018)

Esse processo possui os princípios de funcionamento da dessulfuração em carro torpedo, ou seja, a lança de injeção é inserida na panela de transferência de gusa, sendo essa lança rotativa ou não, como representado na imagem. O material reagente tem a função de captar todo o enxofre contido no gusa e submergir em forma de escória, que será posteriormente retirada Ele é visto como mais vantajoso no quesito tempo, qualidade e confiabilidade. O tempo de tratamento de uma panela de gusa gira em torno de 11 a 18 minutos, a variar pelo teor de enxofre no gusa como pode ser descrita na tabela a seguir:

Tabela 1 – Tempo no Processo de Dessulfuração

S inicial (%)	T médio(min)
15-20	12,5
21-25	13,38
26-30	14,36
31-35	15,4
36-40	16,24
41- Max	18,38

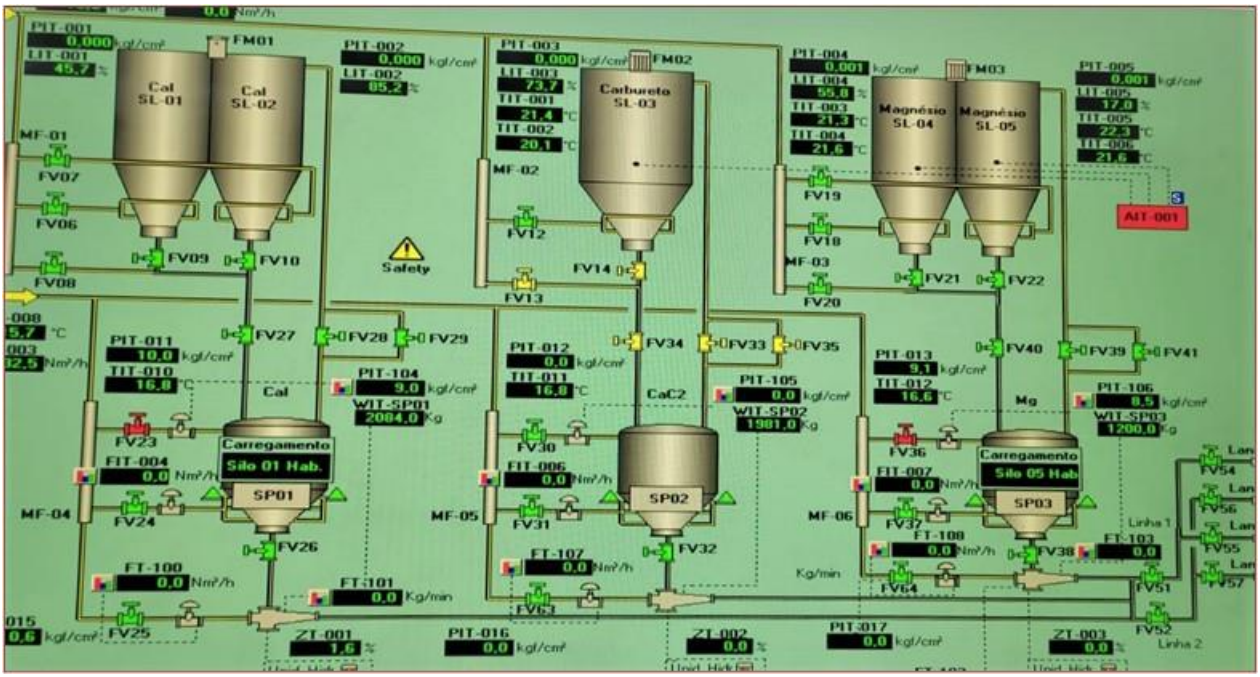
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A tabela exemplifica na coluna à esquerda o percentual de enxofre que pode ser encontrado nas panelas refratárias antes de qualquer tratamento. A coluna à direita nos mostra o tempo médio que o gusa leva para ser tratado, ou seja, todo o processo de injeção de material no gusa até o fim do tratamento. Assim, para uma variação de enxofre em torno de 15 a 20% sabe-se que o tempo de tratamento é de 12,5 min. em média.

O processo de dessulfuração na empresa onde foi realizado este estudo é composto por 2 silos de cal pulverizado com capacidade de 40 tons cada, 2 silos de magnésio com capacidade de 40 tons cada e um silo de carbureto com capacidade de 50 tons. Além disso, há 3 vasos de pressão com capacidade de 5 tons cada, um para cada tipo de material. Esses são pressurizados por nitrogênio a uma pressão de aproximadamente 9 kg e responsáveis por empurra o material até a lança refratária para tratamento do gusa. Para que não haja nenhuma reação inesperada, ambos os materiais chegam até a lança em uma linha de arraste em comum, ou seja, eles terão reação conjunta no tratamento.

A Figura 7 ilustra silos e vasos de um processo de dessulfuração.

Figura 7 – Representação dos silos e vasos da dessulfuração.



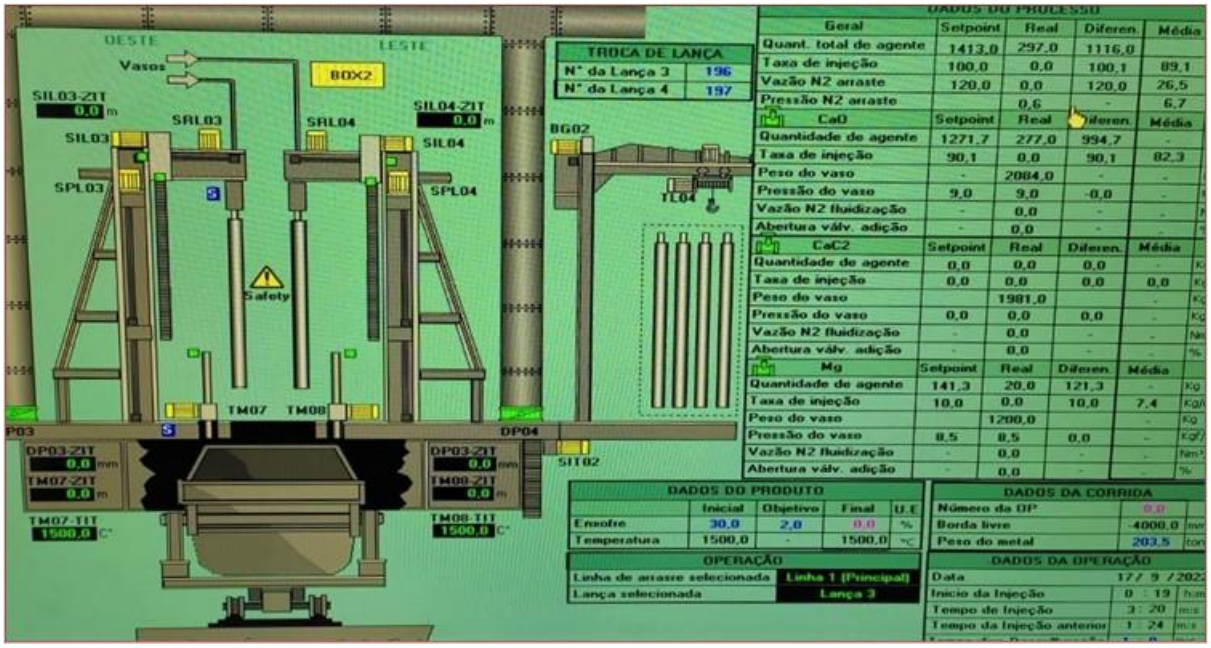
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O equipamento conta com dois boxes de tratamento, cada uma com duas lanças refratárias, sendo uma em operação e uma reserva, para em caso de obstrução ou danos adversos, o equipamento não fique indisponível e possa ser feita a troca.

O Equipamento dessulfuração em lança é responsável por tratar o ferro gusa com níveis altos de enxofre em sua composição, ou seja, ele irá causar uma reação em meio ao gusa utilizando cal e magnésio. Esses produtos farão com que o enxofre seja concentrado em forma de escória que ficará na superfície. No entanto, para que esse tratamento seja realmente efetivo, a escória deve ser retirada, e pra isso é utilizado um skimmer, caso contrário, ao ser enviado para o conversor, a reação é reversiva, e com isso é gerado um desperdício e perda de qualidade

A Figura 8 apresenta a imagem da tela principal do programa de funcionamento da dessulfuração.

Figura 8 – Programação da planta de dessulfuração em lança.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Na figura 8 tem-se a tela na qual se consegue dar os comandos de funcionamento do equipamento, assim como a alteração de parâmetros como o enxofre inicial, e o objetivo que esse tratamento possui. Além disso, pode-se acompanhar todo o tratamento observando quanto de cal, Mg e CaC2 foi injetado na panela(real), quanto cada material precisa ser injetado (setpoint), quanto falta até o fim do tratamento(diferença) e a média de injeção que demonstra a estabilidade do tratamento.

3.2. PROBLEMAS IDENTIFICADOS NO PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO

A partir das observações realizadas no processo de Dessulfuração, foram identificados diversos problemas que fazem com que o volume produzido seja inferior ao da capacidade de produção, como também a qualidade do gusa seja afetada. A planta possui um grande potencial na entrega da qualidade exigida, no entanto, por ser um equipamento que está em rampa de produção, ela apresenta alguns problemas de operação. Esses problemas podem ser observados a seguir.

Dentre os obstáculos de desempenho do equipamento, temos as obstruções da linha de arraste. Normalmente acontecem devido a problemas nos materiais: cal e magnésio. Esses materiais são extremamente finos e variações na granulometria podem prejudicar o arraste de ambos causando entupimentos.

Ainda sobre os materiais, o magnésio possui apenas dois fornecedores autorizados no Brasil. Isso, leva a uma dificuldade de encontrar no mercado produto com a especificação requerida (granulometria exigida na planta) pela empresa. A cal apesar de ter maior número de fornecedores, tem-se a dificuldade na exigência da granulometria também, com isso ambos os materiais passam por constantes testes de fornecedores.

A compactação dos materiais pode ocorrer se o mesmo ficar longos períodos sem ser utilizado nos vasos de pressão. Com isso, na oportunidade de uso, é possível que placas

se soltem das paredes dos silos, causando um bloqueio na saída do vaso de pressão, e nesse caso o processo pode ser interrompido.

Algumas válvulas do equipamento apresentam constantes falhas de abertura e fechamento, seja por excesso de material, seja por falha de sensores de posição. Com isso caso seja necessário utilizar o equipamento, ele não estará disponível até que essas falhas sejam corrigidas.

Foi identificado diversos vazamentos de nitrogênio em toda a planta de dessulfuração. Vazamentos esses em válvulas e mangotes, que diminuem a pressão de nitrogênio necessária para abastecimento e pressurização dos vasos.

A planta de dessulfuração por ser um equipamento novo em testes, não possuía peças sobressalentes para reparos imediatos e corretivos. Com isso a planta fica indisponível por falta de peças.

3.3. MEDIDAS DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO

A partir dos problemas encontrados, foi sugerido a empresa, uma capacitação aos operadores com treinamentos a fim de poder identificar possíveis sinais de entupimento da linha de arraste e inspeção visual das válvulas da planta.

Outra medida sugerida é a realização de um plano de manutenção preventiva e preditiva para que as falhas de válvulas e vazamentos de nitrogênio fossem reduzidas. Com isso, um ganho na disponibilidade do equipamento.

Foi sugerido um estudo sobre as peças que mais se desgastam ou apresentam defeitos para que houvesse reposições imediatas em necessidade.

É proposto também um sistema de vibração dos vasos de pressão para que não houvesse compactação de material nas paredes dos vasos, reduzindo assim geração de placas dentro do silo.

Foi sugerido um grupo de melhoria continua que pudesse usar ferramentas da qualidade como seis sigmas, a fim de sanar defeitos e aumentar a disponibilidade do equipamento, e por consequência geração de maiores lucros para a organização.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A siderurgia é um dos principais segmentos da metalurgia, área dedicada a produção de aços e ferros fundidos. Para que ela aconteça, pode-se dividir em 4 etapas principais sendo elas: preparação de carga, redução, refino e laminação. Nesse artigo foi destacado um dos processos que acontece na etapa de refino, a dessulfuração.

O processo de dessulfuração consiste em reduzir o teor de enxofre no ferro gusa. Esse é prejudicial na qualidade final do aço, pois um aço com alto teor de enxofre diminui a resistência ao impacto, e aumenta sua fragilidade.

O equipamento em estudo trata-se de um tratamento em lança diretamente na panela refratária, e o mesmo vem apresentando alguns problemas operacionais (não conformidades) como entupimento de linhas, falha de válvulas, dificuldade nas especificações de cal e magnésio, vazamentos de nitrogênio por toda a planta além de compactação dentro dos vasos.

Como medidas de controle foram propostas capacitação de operadores, planos de manutenção, disponibilidade de peças sobressalentes, sistema de vibração dos silos e grupo de melhoria continua. Acredita-se que com essas propostas o equipamento conseguirá entregar melhores resultados, aumentar sua disponibilidade, e reduzirá as percas de produção, e por consequência, um aumento dos lucros da empresa.

REFERÊNCIAS

[1] CARDOSO FILHO, Amilton Carlos Pinheiro, Bibliografia do Curso de Pré Tratamento do Gusa. Apresentado em uma usina siderúrgica em Ouro Branco. Minas Gerais: 2018

[2] GOMES, Thiago de Morais. Impacto das Propriedades das Pelotas de Minério de Ferro no Processo de Produção de Gusa no Alto Forno. Contribuição técnica ao 16º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro. Rio de Janeiro: 2015

[3] MOURÃO, Marcelo Breda, Introdução a Siderurgia. Apresentado a Associação brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo: 2007.

[4] SILVA, José Nazareno Santos. Siderurgia. Monografia Apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Curso de Metalurgia IFPA. Belém do Pará: 2011

[5] SILVA, Marcos Antônio, Avaliação da utilização de agentes dessulfurantes a base de carbureto de cálcio contendo sodalita em substituição à fluorita em carro torpedo. Dissertação de mestrado para Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. Minas Gerais: 2012

[6] VILLANOVA, Rodrigo Lupinacci, Introdução à tecnologia metalúrgica: aula 2. Aspectos gerais sobre a siderurgia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. UFRS :Campus Caxias do Sul, 2010

Capítulo 6

Análise de desgaste na tubulação de minério de ferro: Aplicação de polímero para evitar o desgaste e vazamento em tubulações

José Dimas de Arruda
Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco
Edgar Félix de Azevedo Santos
Luciano Rodrigues dos Anjos

Resumo: Foi analisado um equipamento específico do mineroduto da CSN, a caixa cruzeta 02, fabricada de dois diferentes aços: A-36 (aplicado na chapa, flange solto usinado, anel e olhal) e o A-53 (aplicado na tubulação DN16 pela norma ASME B 36.10). Esta análise foi feita devido à constatação de desgaste na região de solda entre o anel (virola) e o tubo, saída da caixa. O estudo permitiu observar que o aço API-5L-X70, inicialmente indicado para substituição do aço ASTM A-36, não é um material adequado, pois este tem melhor performance em circuitos que exigem alta pressão interna e não necessariamente desgaste abrasivo. Dentre as possibilidades de substituição do material da caixa cruzeta, foi analisada a substituição do aço A-36 pelo aço Hardox, que teria o custo 1,684 vezes ao total do material aplicado na CSN, e a disponibilidade física seria de 12 a 13 meses, sem paradas para manutenção, o que reduziria de quatro para uma parada anual do equipamento. Outra situação avaliada foi a aplicação de um revestimento polimérico interno, utilizando poliuretano (PU) com alta resistência ao desgaste abrasivo. A disponibilidade física indicada seria duas vezes maior considerando a troca atual a cada seis meses. O custo destes seria de 1,47 vezes em relação ao total do material aplicado na CSN. Devido ao menor custo de aplicação e disponibilidade física semelhante, optou-se pela aplicação do revestimento.

Palavra Chave: Mineroduto; Desgaste abrasivo; Revestimento polimérico; Poliuretano (PU).

1. INTRODUÇÃO

Devido ao desgaste acelerado de tubulações metálicas, que provocam paradas de linha ou até mesmo de toda produção, e em razão de vazamentos com perda de produto, este trabalho buscou implementar um novo material metálico ou de revestimento polimérico para tubulação de transporte de polpa de minério de ferro, se justificando devido ao risco iminente de paradas na produção em intervalos de tempo de 3 meses. O trabalho teve como objetivo aumentar a confiabilidade e a disponibilidade das tubulações da alimentação das linhas de processo da CSN, procurando tecnologias para diferentes revestimentos em relação aos que já se tem aplicado, buscando um material com maior vida útil, custo competitivo e de fácil aquisição, que promovesse a redução das paradas de produção devido ao alto desgaste interno abrasivo.

2. TIPOS DE AÇOS E SUAS PROPRIEDADES

Com o objetivo de aumentar a eficiência operacional, diminuir o peso, reduzir custos, e aumentar a confiabilidade estrutural em sistemas dutoviários, têm-se desenvolvido e utilizado aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) em operações com dutos aplicando altas pressões e vazões (YSHII, 2007). Segundo o autor, os aços para tubulações são classificados segundo a API (Americam Petroleum Institute) em função de sua aplicação, composição química e resistência mecânica; os aços aplicados na linha de transmissão seguem a classificação API-5L (Specification for Line Pipe Steel), acrescido ainda da letra X seguida de dois dígitos que especifica o limite de escoamento em “ksi” do material. A evolução desses aços se deu com a diminuição do percentual de carbono e aumento de diferentes elementos de liga, que tende a melhorar a resistência mecânica dos aços sem diminuição da tenacidade ou ductilidade. Além disso, o uso de laminação controlada e posteriormente o resfriamento controlado permite a evolução desses aços. O objetivo da laminação controlada é produzir grãos de austenita na forma achatada, nos últimos passos da laminação, visando o refino de grão após a transformação de fase.

Chiaverini (1986) afirma que a adição de cromo (Cr) para aços aplicados em tubulações melhora a resistência à oxidação e à corrosão, além de aumentar o limite de escoamento, a resistência à tração e a dureza. Para esses aços, o percentual de carbono é mantido baixo, menos que 0,15%. O autor destaca ainda que a presença de molibdênio (Mo) aumenta a resistência em alta temperatura do material. Galdino et. al. (sem data) reforçam que o cromo aumenta a temperabilidade, a resistência à oxidação, resistência mecânica e dureza do material; reforçam ainda que a presença de níquel melhora a ductilidade, resistência mecânica, soldabilidade e resistência ao impacto do aço. A presença de molibdênio favorece o aumento de resistência mecânica, dureza e resistência à corrosão e à abrasão, desde que adicionado em baixo percentual (< 0,3%). A presença de Nióbio e Titânio impede o empobrecimento de cobre, e que estes elementos formam carbetos durante o aquecimento. A presença de Vanádio evita o crescimento exagerado de grão.

Segundo Tuper (2019), o aço considerado ideal precisa ser avaliado quanto ao seu carbono equivalente, que não deve ter o valor maior que 0,6. Este é calculado pelas equações 2.1 ou 2.2, a depender do percentual de carbono como indicado nas equações:

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cr+\%Mo+\%V)}{5} + \frac{(\%Ni+\%Cu)}{15}; \text{ se } \%C > 0{,}12 \quad \text{eq. (2.1)}$$

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Si}{30} + \frac{\%Mn}{20} + \frac{\%Cu}{20} + \frac{\%Ni}{60} + \frac{\%Cr}{20} + \frac{\%Mo}{15} + \frac{\%V}{10} + 5\%B; \text{ se } \%C < 0{,}12 \quad \text{eq. (2.2)}$$

Segundo Cruz et. al (2012) a evolução dos aços ARBL 5L-X (52 a 120) está relacionada diretamente com a alteração da composição química, diminuição do percentual de carbono, aumento do percentual de manganês e silício e pequenas variações nos percentuais dos elementos (V, Nb, Ti, Cu, Ni, Cr, Mo, B), como mostrado na Tabela 1, que mostra ainda a evolução destes aços no aumento de LE (Limite de Escoamento) e LR (Limite de Resistência). Os autores afirmam ainda que a presença de vanádio aumenta a resistência do aço, fortalecendo a ferrita e refinando o grão; o nióbio aumenta o limite de escoamento e o titânio o estabiliza; o aumento de titânio promove a redução da fragilidade ao revenido, aumentando a resistência mecânica; o níquel e o cobre melhoram a resistência à corrosão; o cromo aumenta a resistência mecânica a choques, sem reduzir a tenacidade; o boro ajuda a diminuir o teor de carbono. Na especificação API-5L os principais requisitos que devem ser seguidos são o Limite de Escoamento (LE), o Limite de Resistência (LR), composição química, e a tecnologia de fabricação do aço e do tubo. Esses aços podem ser fabricados por normalização ou têmpera seguida de revenido, sendo que o processo de laminação convencional controlada vem sendo aplicado nos aços de maior resistência. A diminuição do percentual de carbono nos aços de baixa liga foi fundamental para o aumento do limite de escoamento e resistência, melhorando a tenacidade e soldabilidade do material. Isso se dá em conjunto com o aumento do teor de manganês, que fortalece a ferrita. Além disso, o aumento do percentual de Ni, Cr e Mo proporciona uma melhoria de propriedade mecânica na faixa de aços entre X60 e X80. Os aços mais avançados dessa linha API-5L (entre X90 e X120), além dos elementos de liga citados anteriormente, teve o aumento de resistência devido à presença de Boro (B), aumento do percentual de Mn, e diminuição de impurezas como P e S. Sampaio (2008) afirma ainda que a evolução dos aços API-5L está diretamente ligada à redução do tamanho de grão efetivo, desde uma microestrutura perlítica dos aços X60, ferrita acicular e poligonal dos aços X80; bainita superior dos aços X100 até bainita inferior dos aços X120.

Tabela 1 – Composição Química e Propriedades Mecânicas de aços API-5L (mínimo de LE e LR)

Grau	%C max	%Mn max	%P max	%S max	%Si max	%V max	%Nb max	%Ti max	Outros Elementos	LE (Mpa)	LR (Mpa)
X52	0,18 – 0,28	1,40 – 1,50	0,025 – 0,030	0,015 – 0,030	0,00 – 0,45	0,05 – 0,10	0,05 – 0,10	0,04 (a)	b	360	460
X56	0,18 – 0,28	1,40 – 1,50	0,025 – 0,030	0,015 – 0,030	0,00 – 0,45	0,07 – 0,10	0,05 (a)	0,04 (a)	b	390	490
X60	0,12 – 0,28	1,40 – 1,70	0,025 – 0,030	0,015 - 0,030	0,00 - 0,45	0,10 (a)	0,05 (a)	0,04 (a)	b c	415	520
X65	0,12 – 0,28	1,40 – 1,70	0,025 – 0,030	0,015 – 0,030	0,00 – 0,45	(a)	(a)	(a)	c	450	535
X70	0,12 – 0,28	1,40 – 1,80	0,025 – 0,030	0,015 – 0,030	0,00 – 0,45	(a)	(a)	(a)	c	485	570
X80	0,12 – 0,18	1,60 – 1,90	0,025	0,015	0,045	(a)	(a)	(a)	d e	555	625
X90	0,10	2,10	0,020	0,010	0,55	(a)	(a)	(a)	d, e	625	695
X100	0,10	2,10	0,020	0,010	0,55	(a)	(a)	(a)	d, e	690	760

Fonte: Cruz et. al (2012). Adaptado pelo autor.

Tabela 1 – Composição Química e Propriedades Mecânicas de aços API-5L (mínimo de LE e LR) (continuação)

Grau	%C max	%Mn max	%P max	%S max	%Si max	%V max	%Nb max	%Ti max	Outros Elementos	LE (Mpa)	LR (Mpa)
X120	0,10	2,10	0,020	0,010	0,55	(a)	(a)	(a)	d, e	830	915

Legenda:
a – Soma das concentrações de V, Nb e Ti serem menor que 0,15%.
b – Cu_{max} = 0,50%; Ni_{max} = 0,30%; Cr_{max} = 0,30%; Mo_{max} = 0,15%.
c – Cu_{max} = 0,50%; Ni_{max} = 0,50%; Cr_{max} = 0,50%; Mo_{max} = 0,50%.
d – Cu_{max} = 0,50%; Ni_{max} = 1,00%; Cr_{max} = 0,50%; Mo_{max} = 0,50%.
e – B_{max} = 0,004%.

Fonte: Cruz et. al (2012). Adaptado pelo autor.

Toffolo (2008) estudou dois aços microligados: API-5L-X60 e API-5L-X70, comparando estes aços quanto à composição química e análise metalográfica, além de realizar ensaios de tração, impacto, tenacidade à fratura (CTOD) e fractografia dos corpos de prova; determinando que o aço API-5L-X70 possui maior resistência mecânica sem perda significativa de tenacidade, observada nos seus resultados de ensaio Charpy. A análise microestrutural permitiu observar que o aço X70 possui menor tamanho de grão que o aço X60, além do aço X70 possuir maior heterogeneidade no tamanho de grão. Foi possível observar que estes dois aços possuem fratura do tipo dúctil, com nucleação, crescimento e coalescimento de vazios (dimples). O ensaio de tração determinou que o aço X70 possui maior limite de resistência e de escoamento que o aço X60, porém os dois aços possuem limites de escoamento dentro da faixa de tolerância especificado pela norma PSL2; o ensaio ainda comprovou maior tenacidade do aço X70 em relação ao aço X60. Os valores obtidos no ensaio de CTOD de carga máxima do aço X60 foram maiores que para o aço X70; os valores de CTOD para os corpos de prova com entalhe foram

menores do que os obtidos para os corpos de prova sem entalhe; porém os valores de dispersões para este teste CTOD de carga máxima foram muito pequenos se comparados com os elevados valores de dispersões obtidos no ensaio de impacto, dando expressividade a este ensaio e indicando menor tenacidade do aço X70 em relação ao aço X60. Como a resistência mecânica do aço X70 foi superior ao do aço X60, sem grande prejuízo à tenacidade à fratura, o autor sugeriu a utilização do aço X70 no emprego de tubulações, pois este permite uma menor espessura do tubo, implicando em um menor peso e menor custo. A evolução dos aços ARBL e importância desta na composição química destes aços são destacadas pela CIMM (2020), que destacam a boa conformabilidade e soldabilidade devido ao baixo carbono e mostra o aumento do LE devido à variação da composição química como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição Química e L.E. de alguns Aços ARBL

ASTM	Limite da Composição Percentual (%)									L.E. (Mpa)
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	V	
A 606	0,22	1,25	-	0,05	-	-	-	-	-	345
A 618	0,15 – 0,23	0,85 – 1,35	0,04 – 0,15	0,05	0 – 0,30	-	-	0,20 min.	-	345
A 871	0,2	1,50	0,04	0,05	0,90	0,90	1,25	1,00	0,10	415 - 450
A 715 grau60	0,15	1,65	0,0025	0,035	-	-	-	-	-	415
A 715 grau70	Para qualquer aço A 715, o percentual de C, Mn, P e S são os mesmos, e a adição de V, Ti e Nb se dá conforme necessidade das propriedades que se deseja obter na liga.									485
A 715 grau80										550

Fonte: CIMM (2020)

Segundo Travassos et. al. (2016), a classe A871 é um aço COR-TEN (aços patináveis) de alta resistência mecânica e à corrosão, podendo ter alta conformabilidade e soldabilidade, a depender da composição química. Diversas usinas siderúrgicas brasileiras produzem os aços patináveis, dentre elas, a CSN, que produz alguns destes aços, dentre eles o COR420 e COR500. A composição química e o limite de escoamento (L.E.) e limite de resistência (L.R.) dos aços COR420 e COR500 produzidos pela CSN são mostrados na Tabela 3 (CSN, 2020).

Tabela 3 – Composição Química, LE e LR dos aços COR420 e COR500.

Aço	C_{max}	Mn_{max}	P_{max}	S_{max}	Cu	Si_{max}	Nb_{max}	Al	Cr	LE (Mpa)	LR (Mpa)
COR 420	0,17	1,00	0,025	0,025	0,2 – 0,5	0,35	-	0,015 - 0,07	0,55 – 0,80	300	420
COR 500	0,17	1,20	0,025	0,025	0,2 – 0,5	0,35	0,04	0,015 – 0,07	0,55 – 0,80	380	500

Fonte: CSN (2020)

Wielage et. al (2017) estudaram o aço Hadfield (austenítico manganês), que possuem alta dureza, boa ductilidade e boa capacidade de encruamento, manifestando, portanto, excelente índice de resistência a cargas abrasivas e impacto. É um aço com aplicação à solicitação ao desgaste, em que a camada periférica resistente ao desgaste renova-se continuamente, devido à capacidade de encruamento, diferentemente de camadas endurecidas por precipitação; contudo, no caso de solicitações combinadas com intenso caráter abrasivo, o efeito de endurecimento pode ser baixo. Os autores afirmam que a relação entre manganês e carbono igual a 10:1 garante valores otimizados de propriedades mecânicas, e exemplifica com o aço de teor 12% de manganês e 1,2% de carbono. Ressaltam ainda que a adição de metal duro aumenta a resistência ao desgaste abrasivo, destacando que o carboneto de vanádio é vantajoso em deposição por soldagem, se comportando de maneira quase inerte, sem sinal de degradação. Paiva (2009) afirma que um dos melhores meios pra elevar durabilidade, a dureza e a resistência ao desgaste de um aço é pelo encruamento de determinados tipos de aços austeníticos, em que a austenita (pouco estável) podem ser transformados na estrutura martensítica quando colocados em serviço, isso ocorre com os aços manganês austeníticos. Estes são conhecidos como aços Hadfield, que apresentam um teor entre 1,0% e 1,4% de carbono e 10% a 14% de manganês. São aços sujeitos a apresentar fragilização intergranular. Elementos de liga como Cromo, Níquel e Cobre são comumente adicionados ao aço manganês; o cromo com o objetivo de melhorar a resistência ao desgaste abrasivo; o níquel e o cobre para melhorar a ductilidade e soldabilidade.

Silveira (2016) estudou cinco diferentes aços quanto as suas propriedades ao desgaste abrasivo, os aços SAE1008, ASTM A36, SAE1345, SAE1045 e RAEX500. Segundo o autor, se destacaram os aços RAEX 500 e SAE 1345, com menor perda volumétrica dentre os materiais testados, sendo que o aço RAEX500 teve os melhores resultados quanto percentual de massa perdida no teste. O aço RAEX500, além da presença de Mn, possui outros elementos de liga (Cr-Ni-Mo-B) que aumentam a resistência mecânica do material, estabelecendo ao material uma dureza entre 470 a 540 HBW e LR 1600 Mpa.

O aço Hardox 500 Tuf traz novos níveis de produtividade e eficiência de custos à mineração, é o que afirma a Hardox (2020). Este aço foi desenvolvido para ser aplicado, principalmente, em carrocerias e chassi de caminhões de transporte de cargas de materiais com alta dureza. De acordo com a empresa, a composição química do aço Hardox está descrita na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição Química do Aço Hardox

C (%max)	Si (%max)	Mn (%max)	P (%max)	S (%max)	Cr (%max)	Ni (%max)	Mo (%max)	B (%max)
0,30	0,70	1,60	0,020	0,010	1,50	1,50	0,60	0,005

Fonte: Hardox (2020)

Desenvolvido para suportar fortes impactos e com alta resistência à abrasão e ao desgaste, o aço Hardox possui uma faixa estreita de dureza Brinell de 475-505 HBW, sendo um material que combina alta dureza a uma alta tenacidade. Esta última oferece excelente resistência contra amassados e rachaduras quando a parede é atingida por materiais pontiagudos e pesados. Um cálculo em desgaste por granito, feito pela empresa, mostra que este material tem uma vida útil 30 a 50% maior que um material com dureza 450HBW, e 85 a 100% maior que um material com dureza de 400HBW que é o valor aproximado da maioria dos aços ARBL. O Limite de Escoamento desse material foi

determinado com o valor entre 1250 MPa e 1400 Mpa. É um material que suporta uma energia de impacto garantida de 27J a -20ºC para placas de 3mm de espessura, e um valor típico de 45J a -40ºC para placas com 20mm de espessura. Este material permite a produção de equipamentos com menor peso e maior resistência mecânica. Além disso, permite economizar soldagens dispendiosas, em que o processo de soldagem pode ser feito com qualquer técnica convencional, não sendo necessário nenhum pré-aquecimento para chapas de até uma polegada de espessura, o mesmo se aplicando para corte e usinagem. É um material que tem a durabilidade e resistência à fadiga dos aços, e se comparado à espessura utilizada para obter essas propriedades, possui o peso do alumínio.

2.1. POLÍMEROS E SUAS PROPRIEDADES

Uma alternativa à troca do material metálico da tubulação é a aplicação de um revestimento polimérico interno. Campos et. al (2016) afirmam que a função do revestimento orgânico polimérico é separar fisicamente a estrutura metálica dos ambientes corrosivos, incrustantes ou abrasivos, seja na superfície externa ou interna. O revestimento deve ser filme completamente contínuo, homogêneo, ausente de bolhas e falhas. Segundo a MetalCoating (2013), os revestimentos protetores são películas aplicadas sobre as superfícies metálicas, que as protegem da exposição ao meio corrosivo e/ou abrasivo. Dentre os diversos tipos de revestimento, os orgânicos são formados por materiais compostos de carbono para proteção anticorrosiva por barreira, como por exemplo, FBE, polietileno, poliamida, fluoropolímeros, entre outros. Este tipo de revestimento pode substituir ligas metálicas nobres e de alto custo, proporcionando propriedades antiaderentes, antibacterianas, anticorrosivas, com resistência química e térmica e com baixa rugosidade na superfície. Destacam ainda a importância de se fazer revestimentos customizados, devido à individualidade de cada tubulação e sua aplicação. Salientam dois processos de aplicação do polímero na superfície metálica, por leito fluidizado (imersão) e por aspersão eletrostática. Destacam ainda uma alternativa de se usar acoplamentos mecânicos para união de tubos revestidos, de forma a garantir maior vida útil da tubulação, acelerando o processo de montagem, reduzindo o tempo de parada e eliminando o processo de solda em campo.

Oliveira et. al (2003) estudaram o revestimento de tubos com polietileno em tripla camada, sendo composto por resina epóxi termicamente curada (FBE), que é aplicada por pistolas eletrostáticas sobre superfície aquecida do tubo; adesivo copolimérico, que é um agente compatibilizante entre as camadas polar de epóxi e apolar de polietileno; e polietileno, aplicados sequencialmente. Os autores destacam que a definição do polietileno depende de sua densidade, que relaciona sua cristalinidade e suas propriedades mecânicas, térmicas e elétricas; e seu índice de fluidez, relacionado com a processabilidade do produto. O autor afirma que a camada de 1,0mm é suficiente para proteção anticorrosiva, porém maiores espessuras são utilizadas para proteção mecânica, em situação de desgaste abrasivo, por exemplo. A classe de poliolefinas (que contém polietileno e polipropileno, por exemplo) é das mais utilizadas como revestimento polimérico. As propriedades vantajosas que se destacam são: fácil processamento, baixo preço e baixa absorção de água; porém, características como: baixa densidade e inércia química com outros materiais metálicos são prejudiciais à aplicação dos mesmos. A densidade dos polímeros tem efeito determinante nas suas propriedades físicas e mecânicas, e o aumento da densidade e da cristalinidade do polietileno corresponde a um aumento de suas propriedades mecânicas como resistência à tração, rigidez e dureza, além de aumentar o ponto de fusão, resistência química e a resistência à difusão de gases

e vapor; porém diminui a resistência ao impacto, à trinca por tensão e fluidez das partículas.

Araujo et. al (2019) estudaram um sistema de revestimento polimérico, utilizando polietileno de alta densidade (PEAD), como proteção contra corrosão e abrasão, chamado *Liner* (pelo método de soldagem de topo por termofusão), que pode ser instalado em linhas de tubulação fora de serviço ou em operação, portanto tem como vantagem, a reabilitação *"in situ"* dos dutos em operação ou fora de serviço. Este é um processo tradicional para unir tubos poliolefínicos, que não necessita de peças de união, pois estes são soldados topo a topo, seguindo um procedimento operacional que funde as extremidades e as comprime uma contra a outra, provendo a interação das superfícies fundidas e sua soldagem. Este sistema utiliza tecnologias como: *Tite Liner*, *Swage Lining* e *Liner* Expandido. Os dois primeiros consistem na inserção de um tubo de polietileno com diâmetro externo maior que o diâmetro interno do aço, portanto há necessidade de redução do diâmetro do PEAD no momento da inserção. Na tecnologia *Liner* Expandido a tubulação PEAD possui um diâmetro externo cerca de 6% menor que o diâmetro da tubulação interna do aço. Dentre essas, a tecnologia *Tite Liner* é a mais utilizada para minerodutos. Os autores afirmam que o PEAD possui maior densidade e maior gral de cristalinidade que os PEBD (polietileno de baixa densidade), o que lhes conferem maior temperatura de fusão, maior esforço de ruptura, alongamento à fratura, módulo de elasticidade, dentre outras propriedades. A superfície do PEAD é a mais suave que a de um aço novo, possuindo baixa rugosidade e, portanto, permitindo maior capacidade de vazão e menor coeficiente de atrito. O PEAD, utilizado no sistema *Liner*, possui ainda resistência à maioria dos agentes químicos, imunidade total a corrosões eletrolíticas e galvânicas, baixo efeito a incrustações, elevada vida útil e resistência ao impacto, maior capacidade de escoamento do fluido, não agride o meio ambiente, dentre outras vantagens. Tucunduva (2017) afirma que o PEAD envelhecido em água durante 6 meses à temperatura ambiente sofrem aumento em sua rigidez e resiliência, reduzindo sua resistência ao impacto, tensão de escoamento e seu amortecimento. Quando esse processo é realizado na temperatura de 70ºC, observa-se uma diminuição na sua rigidez e tensão de escoamento, com um aumento na resistência ao impacto e na sua resiliência.

Resguardando as propriedades químicas dos materiais, Silva et. al (2018) estudaram três tipos Poliuretanos (PU) quanto a resistência à abrasão, comparando os resultados obtidos em laboratório com propriedades mecânicas como resistência à tração, alongamento e resiliência que foram fornecidas pelo fabricante. A dureza das três amostras foi próxima, não havendo relação direta com a taxa de desgaste. O PU que teve maior resistência ao desgaste por erosão apresentava menor resistência à tração e menor resiliência, mostrando uma correlação direta entre essas propriedades. Os autores observaram ainda que a presença de poros pode servir como regiões de acúmulo de partículas abrasivas, contribuindo com o aumento da massa e formação de barreiras contra desgaste erosivo da superfície. Bertholdi et. al (2014) estudaram o desgaste por deslizamento em amostras de PU submersas em água, analisando o parâmetro perda de volume. Os autores obtiveram maior perda volumétrica na amostra de maior dureza shore, observando também um desgaste mais uniforme e severo nessas amostras. Afirmam que a maior variação no desgaste é devido à permanência dos fragmentos durante o contato das amostras de menor dureza.

Segundo a Polycast (2021), o objetivo geral do emprego de tubos e conexões revestidos internamente com poliuretano de alta resistência à abrasão é aliar as vantagens percebidas com o uso de materiais nobres e especiais. O revestimento anti-abrasivo trabalhado na empresa é de poliuretano importado, pré-polímero tipo TDI, poliol

PTMEG (Premium Poliéter), com excelentes características de resistência à abrasão em ambientes úmidos, estabilidade hidrolítica, e com propriedades dinâmicas elevadas, ou seja, alta resiliência aliada à baixa deformação permanente. Estas características possibilitam um desempenho incomparável do revestimento e, com isso, a redução da parede metálica dos tubos de aço, tornando- os mais leves e duráveis.

3. ESTUDO DE CASO

Foi analisado um equipamento específico do mineroduto da CSN, denominado caixa cruzeta 02. A descrição do material aplicado nesta caixa mostra a utilização de dois tipos de aços: o A-36 (aplicado na chapa, flange solto usinado, anel e olhal) e o A-53 (aplicado na tubulação DN16 pela norma ASME B 36.10).

Segundo Luz (2017 (a)), o aço A-36 é um material equivalente aos aços comuns SAE1015 a SAE1025, com composição química contendo 0,25-0,26% de carbono (C), 0,4% de silício (Si) e 0,2% de cobre (Cu), sem a presença de manganês (Mn), além de baixo percentual de fósforo (P) e enxofre (S) (0,03-0,05%), possuindo um C_{eq} igual a 0,277. Gheno (2014) estudou um aço ASTM A36, que se comparado à composição anterior, continha 0,4% de Mn e não continha Si. Luz (2017 (a)) afirma ainda que o limite de escoamento deste aço é, no mínimo, de 250MPa, o limite de resistência entre 400-550 MPa, alongamento em torno de 20% e a dureza Brinnel na faixa de 130 a 150 HB. É um aço com boa usinabilidade e soldabilidade.

Luz (2017 (b)) esclarece que o aço A-53 é um material próprio para aplicação em tubos, com ou sem costura, em condução de fluidos onde há pressão ou altas temperaturas. Sua composição química contém 0,25% de C, 0,95-1,20% de Mn 0,4% Cu, sem a presença de Si, além de baixo percentual de fósforo (P) e enxofre (S) (0,045-0,05%), possui ainda elementos de liga como: 0,4% Cr, 0,4% Ni, 0,15% Mo e 0,08% de V, possuindo um C_{eq} igual a 0,603. Seu limite de escoamento tem o valor entre 205-240 MPa, limite de resistência entre 330-415 MPa.

Foi relatado pela CSN, que o problema de desgaste na caixa cruzeta 2 ocorria, inicialmente, na região de solda entre o anel (virola) e o tubo. Este anel era colocado para se unir ao flange da tubulação. Com isso, o anel foi retirado e o flange foi soldado ao próprio tubo da caixa cruzeta. Foi relatado ainda que não há desgaste no próprio flange, mas na solda do mesmo. Além disso, o tubo da caixa cruzeta é soldado à chapa da caixa cruzeta; e o flange da tubulação em sequência é soldado à própria tubulação.

Consta ainda que o desgaste por impacto ocorre na região do flange (#25,4 x Φ597/411) que é soldado ao tubo. O tipo de solda aplicada é solda MIG, utilizando eletrodo 7018. Segundo Gheno (2014) e Balmer (2020) este eletrodo possui elementos de liga (Mn-Ni-Cr-Mo-V, combinados em um limite de 1,75%) em sua composição química, além de um percentual de carbono de 0,15%. Segundo Gheno (2014) é aplicado em soldagem de aço carbono e Balmer (2020) afirma que é um eletrodo aplicado na soldagem de qualquer aço construção, com Limite de Escoamento entre 400-460 MPa e Limite de Resistência entre 490-580 MPa.

Existe uma junta de borracha entre os dois flanges, que são unidos por parafusos e porcas. Não há registros de quebra desses parafusos e porcas. Além disso, não há registros de desgaste na região do flange próximo aos parafusos de fixação. Sendo assim, a princípio pode-se descartar problema de fadiga no material. Além da caixa cruzeta 2, outros problemas de desgaste e vazamento são relatados em regiões soldadas, ou em juntas com flanges e anel (virola) soldados, ou em regiões de solda na própria tubulação.

3.1. UTILIZAÇÃO DE AÇOS

Buscaram-se na literatura diversas possibilidades para substituição dos dois aços utilizados nas partes integrantes da tubulação e principalmente a caixa cruzeta. O estudo mostrou que alguns aços são favoráveis à aplicação que necessita de resistência ao desgaste. O aço Hardox juntamente com o aço RAE500, possuem propriedades mecânicas superiores a todos os demais em estudo. Considerando a linha de aços ARBL API-5L-X, os aços X70 a X120 possuem L.E. e L.R. desejáveis para aplicação em tubulação que necessita de alta resistência ao desgaste. Além deste, o aço A 871 é um aço aplicável para estrutura tubular e resistente à corrosão.

Quanto à composição química, baixo percentual de carbono é importante para manter a boa conformabilidade e soldabilidade do material. Além disso, é importante que o material tenha baixo percentual de impurezas como enxofre (S) e fósforo (P). O estudo indica que a presença de manganês (Mn) aumenta a dureza e resistência ao desgaste do aço, pois favorece a capacidade de encruamento e estabiliza os carbonetos; a presença de cromo (Cr) melhora a resistência à abrasão, oxidação, desgaste e aumenta a dureza do material; o níquel (Ni) melhora a resistência à tração, impacto, oxidação e corrosão, além de diminuir o tamanho de grão do material, sem desfavorecer a ductilidade do mesmo; o molibdênio (Mo) é importante para melhorar a resistência a altas temperaturas e temperabilidade do material. Outros elementos de liga como vanádio (V), titânio (Ti) e nióbio (Nb) podem favorecer a formação de carbonetos e diminuir o tamanho de grão; estes elementos, juntamente com o molibdênio (Mo), devem ser adicionados em baixo percentual. Tem-se ainda a possibilidade de acrescentar cobre (Cu), que favorece o aumento da resistência à corrosão atmosférica, e pequenas quantidades de boro (B) favorece o endurecimento do aço.

Portanto, para que um aço tenha alta resistência mecânica e ao desgaste, boa soldabilidade e sem diminuir drasticamente sua ductilidade, é essencial que tenha baixo carbono ($C<0,15\%$); tenha elementos de liga como cromo ($0,4\%<Cr<1,0\%$) e níquel ($0,4\%<Ni<1,2\%$). A presença de manganês ($Mn<1,5\%$) favorece a resistência ao desgaste; os elementos de liga nióbio, titânio, vanádio e molibdênio, combinados em ($\Sigma(Mo+Nb+Ti+V)<0,2\%$), favorecem a formação de carbonetos e diminuição de tamanho de grão. A presença de cobre ($Cu<0,5\%$) favorece ao aumento da resistência à corrosão e a presença de boro ($B<0,005\%$) favorece o endurecimento do aço. O percentual total de elementos de liga deve permanecer inferior a 5% (ARBL). Dentre os aços estudados, a linha API-5L acima do X70 possuem propriedades favoráveis, contendo os elementos citados em proporções variadas. Além destes, o aço A871 pode ser indicado para esta aplicação. O aço RAEX500 e o aço Hardox possuem alta resistência mecânica e à abrasão. O aço COR500, produzido pela CSN, possui propriedades mecânicas que possibilitam sua aplicação, apesar de não conter Ni em sua estrutura (elemento que melhora a ductilidade dos aços). Com exceção do aço RAE500, os demais não contêm boro em sua estrutura, elemento que aumenta a dureza superficial do aço, e, portanto aumentando a resistência ao desgaste. A Tabela 5 foi criada para destacar os quatro materiais mais apropriados para substituir o aço aplicado na empresa, com objetivo de buscar uma viabilidade de aplicação destes no mercado. Essa Tabela mostra a Composição Química, o Limite de Escoamento (LE) e Limite de Resistência (LR), estudados na literatura.

Tabela 5 – Composição química de aços estudados na literatura com aplicação para desgaste.

Aço	Composição Química									L.E.	L.R.
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V,Ti,Nb	Cu	B		
X70	0,07	0,32	1,6	0,02	0,1	0,004	1,2	0,01	-	482	570
A871	0,2	0,9	1,5	0,9	1,25	-	0,1	1,0	-	415 - 450	
RAE X500	0,3	0,8	1,7	1,5	1,0	0,5		-	0,005		1600
Hardox	0,3	0,7	1,6	1,5	1,5	0,6	-	-	0,005	1250 1400	
Obs: Para todos esses aços os elementos S e P são encontrados abaixo de 0,05%.											

Fonte: Cruz et. al (2012); CIMM (2020); Silveira (2016); Hardox (2020).

3.2. UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTO POLIMÉRICO

Uma alternativa do estudo em relação à troca do material metálico para aumentar a resistência ao desgaste da caixa cruzeta e tubulação foi a busca por um revestimento polimérico interno. Dentre os diversos materiais poliméricos utilizados na CSN, tem-se o Polietileno de alta densidade (PEAD), aplicado principalmente como tubo de transporte de polpa de minério de ferro por gravidade. A Tabela 6 mostra dados do PEAD utilizado na CSN. Outro material polimérico utilizado na empresa é o Poliuretano (PU), aplicado como revestimento de tubulações já existentes. Utiliza-se outros materiais para revestimento em locais específicos, estes estão descritos na Tabela 7.

Tabela 6 – Dados do PEAD utilizado na CSN.

PEAD – Polímero de Alta Densidade		
Material	PE 80	PE 100
Nome	PTA PL 630mm	PTA PL 560mm
Padrão Dimensional	DIN 8074	DIN 8074
Classe	PN8	PN10
Comprimento da Barra	12000 mm	12000 mm
Espessura	37,4mm	33,2mm
Diâmetro Externo	630mm	560mm

Fonte: CSN (2020)

Tabela 7 – Materiais poliméricos utilizados como revestimento no mineroduto e sua descrição

Material	Descrição
Junta Ved. p/ Flange	Papelão Hidráulico
ASBERIT U-60	Junta DN 350
Borracha	ABNT EB 362-4AA 425 A13 B13 L14 K11 Z1 e Z2

Fonte: CSN (2020)

Segundo a Poliprene Borracha (s.d.), a borracha citada na Tabela 7, ASTM-A-120, é uma borracha natural de granulado escuro brasileiro, com adição de cordonel de poliamida Cordprene e arame aço mola SAE 1070 DIN 17223, Classe C. Seus terminais podem ser flange solto ou fixo e engate rápido. É um material para revestimento interno

com dureza Shore A no valor de 45(±5). Sua resistência à abrasão segue a norma DIN 53516. Possui acabamento interno liso e isento de poros, frisos e/ou cavidades.

De acordo com o estudo bibliográfico apresentado neste texto, foi criada a Tabela 8, que mostra os principais materiais apresentados neste estudo, visando uma aplicação em revestimento para evitar o desgaste. Dentre os materiais apresentados, os três com características mais favoráveis e indicados para o estudo são o PEAD em tripla camada (PE3D) e os Poliuretanos para aplicação em revestimento de tubulação metálica. Este último é comumente aplicado como revestimento interno em tubulações para diminuir o desgaste abrasivo, e sua viabilidade será avaliada em sequência.

Tabela 8 – Materiais poliméricos aplicados como revestimento para evitar desgaste.

Material	Características	Referência
Polietileno em tripla camada	Resina epóxi termicamente curada (FBE); adesivo copolimérico; polietileno.	Oliveira (2003)
PEAD - método *Liner*	Soldagem de topo por termofusão, pode ser instalado em linhas de tubulação fora de serviço ou em operação.	Araújo (2019)
Rhino Hyde e Ureplay	Polímero a base de Uretano.	Silveira (2016)
PU	Maior resistência ao desgaste (menor resistência à tração e menor resiliência)	Silva (2018)
PU	Menor desgaste em amostras de PU com menor dureza.	Bertholdi (2014)

Fonte: Dados da pesquisa bibliográfica (2021)

3.3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Dentre os aços apresentados na literatura, quatro foram selecionados como os mais indicados a terem o estudo aprofundado em ensaios mecânicos, são eles: API-5L-X70, A871, RAE500 e Hardox, destacados na Tabela 5. Dentre os polímeros estudados para aplicação de revestimento interno em tubos de aço, a melhor opção a ter o estudo aprofundado para uma aplicação prática é o revestimento com poliuretano, com composição química apropriada para aplicação aquosa. Além deste, pode-se destacar a aplicação de polietileno em tripla camada, sendo este composto por resina epóxi termicamente curada (FBE), que é aplicada por pistolas eletrostáticas sobre superfície aquecida do tubo; adesivo copolimérico, que é um agente compatibilizante entre as camadas polar de epóxi e apolar de polietileno; e polietileno, aplicados sequencialmente.

Apesar de apresentar propriedades mecânicas que favorecem a aplicação dos aços ARBL da linha API-5L em aplicações que necessitam de material com alta resistência mecânica e boa ductilidade, o material X70, inicialmente sugerido na aplicação deste projeto foi descartado, por ser um material que tem uma melhor performance em linhas de tubulação de alta pressão, e este não é o fator que causa deterioração nos equipamentos analisados neste projeto.

Para obter o melhor material com uma viabilidade econômica de sua aplicação, buscaram-se fornecedores destes produtos selecionados para analisar a aplicação dos mesmos em substituição dos materiais utilizados no circuito de tubulação de transporte de polpa de minério de ferro da CSN. Dentre os fornecedores contatados, dois apresentaram propostas interessantes. A empresa Califórnia Brasil que comercializa o Aço Hardox e a empresa Polycast que comercializa revestimento polimérico, indicando a aplicação de um poliuretano específico para aplicação interna com alta resistência a ambientes úmidos.

A Tabela 9 mostra dados de custo e disponibilidade física dos materiais utilizados na CSN anteriormente a este estudo. Estes dados são apresentados com o objetivo de serem comparados com os novos materiais indicados na substituição dos equipamentos que vem apresentando problemas de vazamento e paradas na linha de produção. A Tabela 10 apresenta os dados de percentual de custo e disponibilidade física do aço Hardox e do PU, principais materiais sugeridos na substituição dos equipamentos estudados.

Tabela 9 – Dados dos materiais aplicados na CSN

Material Utilizado	Preço	Disponibilidade Física
Aço carbono Cx02	R$ 18.107,15	6 meses com manutenção em 3 meses
Resina	R$ 3.000,00	6 meses, troca feita junto com a caixa cruzeta
Total	**R$ 21.107,15**	**Ambos 6 meses para a troca**

Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

Tabela 10 – Dados dos materiais sugeridos para substituição dos equipamentos da CSN

Material Sugerido	Preço	Disponibilidade Física Estimada
Poliuretano (PU) - "Cx" (Polycast)	1,469 vezes o custo da caixa cruzeta com Aço A-36	Cerca de duas vezes ao atual de 6 meses
Poliuretano (PU) – "Tê" (Polycast)	1,232 vezes o custo da caixa cruzeta com Aço A-36	Cerca de 1,5 a 2 vezes mais que o atual de 6 meses
Aço Hardox 500 (Califórnia Brasil)	1,684 vezes o custo da caixa cruzeta com Aço A-36	12 a 13 meses

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

De acordo com a Califórnia Brasil, o aço Hardox tem alta resistência à abrasão, podendo ser dobrado e soldado. Este material possui dureza igual a 500HBW. É um material com alta resistência ao desgaste, boa capacidade de processamento e tenacidade. A empresa destaca ainda que a solda aplicada neste material segue a norma AWS D1.1/1.1M: 2020, e é realizado testes de ultrassom, tração e dobramento na mesma. Quanto ao produto caixa cruzeta oferecido à CSN, toda a estrutura caixa cruzeta seria fabricada em aço Hardox 500, porém, os flanges, que são externos, serão fornecidos em aço ASTM A-36.

A Califórnia Brasil fez sua proposta em fornecer o equipamento caixa cruzeta, com o material aço Hardox 500, com a mesma espessura e peso da caixa original da CSN, não sendo necessário o revestimento interno da mesma, pois este material se caracteriza por ser antiabrasivo e resistente ao impacto. A empresa prevê um aumento da vida útil do equipamento em 4,3 vezes, considerando a parada para manutenção após 3 meses do início de aplicação da caixa em aço A-36, o que resultaria em uma vida útil de 12 a 13 meses, sem necessitar de paradas para manutenção, ou seja, reduziria de 4 para 1 parada anual de manutenção/troca. O percentual do custo deste equipamento em relação ao custo da caixa com aço A-36 aplicado atualmente na CSN está indicado na Tabela 10.

Segundo o relatório da Polycast, a aplicação de um novo aço não resolveria o problema de desgaste do equipamento, seja um aço comum, ARBL, ou aço manganês. De acordo com a Polycast, a aplicação de um revestimento polimérico ou cerâmico promove uma efetividade muito melhor; afirmam ainda que os resultados da aplicação de revestimento de Poliuretano apropriado para transporte de material aquoso podem dar um aproveitamento dez vezes melhor que a aplicação com aço comum. Indicam ainda, a possibilidade da troca da caixa cruzeta por um "Tê", revestido de poliuretano, devido à alta turbulência gerada no interior da caixa cruzeta, diminuindo a perda de carga e,

portanto o desgaste, indicando que o comportamento do fluido passaria de turbulento a laminar. A Polycast sugeriu, portanto, duas possibilidades de aplicação do poliuretano com sistema TDI-éter de alta resistência à hidrólise e abrasão:

1 – A aplicação de um "Tê", com espessura de 450mm de diâmetro externo do tronco, sem alteração nos flanges, com revestimento médio de 20mm e acréscimo de uma caixa de desgaste no fundo com 50mm de poliuretano. A empresa indica, ainda, que aplicando o "Tê" favoreceria em uma diminuição da turbulência do sistema, mas não apresentou um estudo deste indicativo. O percentual do custo deste "Tê" (estrutura de aço externa e revestimento interno de PU) em relação ao custo da caixa com aço A-36 aplicado atualmente na CSN está indicado na Tabela 10.

2 – Fabricação da caixa cruzeta nos moldes atuais, com espessura de 15mm de revestimento nas paredes e 30mm de revestimento no fundo, devido ao maior impacto e desgaste no local. O percentual do custo desta nova caixa (estrutura de aço externa e revestimento interno de PU) em relação ao custo da caixa com aço A-36 aplicado atualmente na CSN está indicado na Tabela 10.

Dentre as opções analisadas foi escolhida a aplicação do revestimento de Poliuretano na própria caixa cruzeta. A Tabela 11 apresenta as propriedades mecânicas do poliuretano indicado pela Polycast para a aplicação em revestimento da tubulação em estudo.

Tabela 11 – Propriedades do Poliuretano TDI-ETER.

Propriedades Técnicas		Características	Aplicações
Tipo de Polímero	TDI	Alta resistência à abrasão em ambientes úmidos; Excelente resistência à hidrólise; Baixo desenvolvimento de calor; Excelentes propriedades dinâmicas; Capacidade de carga elevada.	Revestimentos antiabrasivos em ambientes úmidos, Revestimentos de tubos, telas, hidro ciclones, peças para flotação, rodas, rolos, molas para ferramentaria, gaxetas hidráulicas e peças que exigem performance técnica.
Especificação	TDI-ETER		
Dureza Shore	82A – 95A		
Resistência à Tração	(4100 a 5800) psi		
Alongamento	(350 a 510) %		
Módulo a 100%	(800 a 2600) psi		
Módulo a 300%	(1500 a 5800) psi		
Resistência ao Rasgo	(370 a 550) pli		
Resiliência	(41 a 58) %		
Deformação Plástica	(25 a 33) %		
Ponto de Fragilidade	< (-63) ºC		
Peso específico	(1,07 a 1,13)		

Fonte: Polycast (2021)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu concluir que:

- O aço API-5L-X70, inicialmente indicado para substituição do aço ASTM A-36 que constitui a caixa cruzeta aplicada no circuito de tubulação da CSN anteriormente ao estudo, não é um material adequado, pois este tem melhor performance em circuitos que exigem alta pressão interna e não necessariamente desgaste abrasivo;
- Entre os dois materiais poliméricos indicados PE3D e PU, o segundo é mais comumente utilizado em revestimento interno para aplicações de desgaste abrasivo;
- A empresa Califórnia Brasil apresentou uma proposta técnica e comercial para aplicação do aço Hardox, sem revestimento interno, em substituição do aço A-36 como material constituinte da caixa cruzeta. O custo deste material seria de 1,684 vezes ao total do material aplicado na CSN, e a disponibilidade física seria de 12 a 13 meses, sem

paradas para manutenção, o que reduziria de quatro para uma parada anual do equipamento;

- A empresa Polycast apresentou um relatório indicando a aplicação do PU como revestimento interno da caixa cruzeta ou a substituição desta caixa cruzeta por um "Tê", também revestido do material, indicando que este reduziria a turbulência do sistema, mas sem apresentar um estudo aplicado em fluidodinâmica. A disponibilidade física indicada seria duas vezes maior para a caixa revestida e de 1,5 a 2 vezes para a aplicação do "Tê", considerando a troca atual a cada 6 meses. O custo destes seria de 1,469 e 1,232 vezes, respectivamente ao total do material aplicado na CSN;
- Entre as duas possibilidades de aplicação apresentadas, aço Hardox ou revestimento PU, ambas indicam uma disponibilidade física de aproximadamente um ano do equipamento. A empresa Califórnia Brasil considerou o fornecimento de toda a caixa cruzeta do aço Hardox, com exceção dos flanges, união externa da junção dos tubos, que permaneceriam do aço A-36. O valor de aquisição destes novos materiais varia de forma que a aplicação de PU tem um custo inferior à aplicação do aço Hardox, como indicado na Tabela 10 Portanto, a aplicação do revestimento de PU, indicado e fornecido pela Polycast, é a alternativa que apresenta ser mais viável para este estudo de caso;
- Dentre as duas possibilidades de aplicação do revestimento, na própria caixa cruzeta ou em um "Tê", ambas apresentam uma condição de custo/viabilidade semelhante, sendo que o "Tê" revestido apresenta um valor e uma durabilidade inferior à caixa revestida. Vale ressaltar que a caixa cruzeta foi inserida no circuito para substituir uma junção no formato de "Tê" que tinha alto desgaste, porém o mesmo não era revestido. Ao considerar a substituição da caixa cruzeta pelo "Tê" no circuito, deve-se ampliar o diálogo com o fornecedor para que haja uma comparação mais detalhada entre essas duas possibilidades, aumentando, por exemplo, o embasamento quanto a possível diminuição da turbulência do circuito devido à aplicação do "Tê", como indicado pelo fornecedor;
- Este estudo não atingiu uma fase de análise dos materiais em laboratório, com ensaios mecânicos de tração, desgaste, dureza e microestrutural dos materiais, para melhor entendimento dos mesmos, possibilitando um comparativo entre a situação de aplicação de um material metálico mais resistente sem revestimento e/ou da aplicação do revestimento polimérico. Portanto, todas as conclusões anteriores são baseadas em propostas técnicas e comerciais das empresas fornecedoras ou análises de relatórios de materiais analisados na literatura para aplicação na função que exige materiais com alta resistência ao desgaste abrasivo.

REFERÊNCIAS

[1] Araujo, T. T. A.; Cunha, J. D.; Barbosa, A. F. F. Revestimento de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) Como Sistema de Proteção Contra Corrosão em Oleodutos no RN. Trabalho de conclusão de Curso. UFERSA, 2019.

[2] Balmer, Tradição em Solda. Disponível em: https://www.balmer.com.br/ eletrodo-revestido-e-7018-2-50-mm. Acessado em: 04-12-2020.

[3] Bertholdi, J.; Franco, S. D. Avaliação do Desgaste em Amostras de PU Submetidas a Ensaios de Deslizamento em Escala Real. Universidade Federal de Uberlândia, MG, POSMEC, 2014.

[4] Campos, P. H. L.; Gonçalves, A. R.; Decanini, O. G.; Ramos, R. L. Aplicação da Tecnologia dos Revestimentos Orgânicos Poliméricos de Alta Performance no Combate à Corrosão, Abrasão, Incrustação e Ataques Químicos. Artigo Técnico: Revista O Papel, vol 77, p. 140-145, 2016.

[5] CIMM; Aços de Alta Resistência e Baixa Liga. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal /material_didatico/6340-acos-de-alta-resistencia-e-baixa-liga. Acessado em: 14-11-2020.

[6] Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento. 2ª Edição, Brasil, 1986.

[7] Cruz, C. M.; Morilla, J. C. Aços de Alta Resistência e Baixa Liga em Oleodutos e Gasodutos. UNISANTA Science and Technology. Vol. 1, Nº 1. P. 20-24. 2012.

[8] CSN; Aços na Construção Civil. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC520/Downloads /Aco_na_Construcao_Civil_ CSN.pdf. Acessado em: 20-11-2020.

[9] Gheno, S. M.; Mariani, F. E. Análise do eletrodo E7018 conforme a Norma SFA-5.1/SFA-5.1M. FTS, Sertãozinho, SP, 2014.

[10] Hardox; Produtos Hardox. Disponível em: https://www.ssab.com.br/products/brands/hardox/ products/hardox-500-tuf; Acessado em: 13/11/2020.

[11] Luz, G. Aço ASTM A36 Propriedades Mecânicas e Composição Química. 2017. Disponível em: https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/astm-a36-propriedades-mecanicas-e-composicao quimica.html. Acesso em: 04-12-2020 (a).

[12] Luz, G. Aço ASTM A53 Propriedades Mecânicas e Composição Química. 2017. Disponível em: https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/astm-a53-propriedades-mecanicas-e-composicao-quimica.html. Acesso em: 04-12-2020 (b).

[13] MetalCoating, Revestimentos Anticorrosivos. Disponível em: https://alvenius.ind.br/PDF/ metalcoating_corporativo_2013_vis.pdf. Acessado em: 23-11-2020. Alvenius, 2013.

[14] Oliveira, L. C.; Silva, C. E.; Santos, P. T.; Campos, P. H. A correlação entre Materiais, Processos e Propriedades Finais no Sistema de Revestimento de Tubos com Polietileno em Tripla Camada. Conference & Exposition, Rio Pipeline, 2003.

[15] Paiva, M. C Aços Resistentes ao Desgaste. Disponível em: https://burocracismo.wordpress.com /2009/08/28/acos-resistentes-ao-desgaste/. Acessado em; 17/11/2020. (2009)

[16] Polycast; Poliuretano e Plástico de Engenharia, Mineração, Metalurgia, Ferrovia e Siderurgia. Catálogo Geral de Produtos. 2021.

[17] Silva, V. A.; Costa, A. R. Desgaste de Poliuretano por Erosão Úmida: Desenvolvimento de um Ensaio Tecnológico. DEMET, UFOP, Publicado pela ABM, Vol 15, p. 144-150, SP, 2018.

[18] Silveira M. Análise Comparativa de Materiais Resistentes à Abrasão Para Canalizações Agrícolas. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIJUI, Panambi, RS, 2016.

[19] Sampaio, M.; Araujo, C. Engenharia de Microestrutura de aços para tubos de grande Diâmetro. Revista ABM, São Paulo, V.64, nº588. P. 212-214. 2008.

[20] Silveira M. Análise Comparativa de Materiais Resistentes à Abrasão Para Canalizações Agrícolas. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIJUI, Panambi, RS, 2016.

[21] Toffolo, V. B. Estudo Comparativo dos Aços Microligados API-5L-X60 e API-5L-X70, Usados Para Confecção de Tubos, Quanto à Tenacidade à Fratura. Dissertação de Mestrado. Redemat, 2008.

[22] Tuper; Transformando aço e conduzindo soluções. Tabela Técnica de produtos. 2019.

[23] Travassos, S. J.; Tomachuk, C. R.; Melo, H. G. COR-TEN: Uma História de 50 Anos no Brasil. INTERCORR, Búzios, RJ, Brasil, 2016.

[24] Tucunduva, R. C. Caracterização da Poliamida 12 e Polietileno de Alta Densidade Antes e Depois do Envelhecimento em Água a Diferentes Temperaturas. Dissertação de Mestrado. PUC, Rio de Janeiro, 2017.

[25] Yshii, L. N.; Chiodo, . S. G. Aplicação de Aços de Alta Resistência em Dutos de Transporte de Óleo e Gás: Implicações sobre o Projeto e Construção. Artigo TCC. 2007.

[26] Wielage, B.; Wagner, G.; Weis, S.; Schubert, S.; Uhlig, T. Desenvolvimento de Ligas com Alta Resistência ao Impacto e à Abrasão. Corte e Conformação de Metais. Disponível em: https://www.arandanet.com.br/revista/ccm/materia/2017/07/21/desenvolvimento_de_ligas.html. Acessado em: 17/11/2020. Aranda Editora Técnica, 2017.

Capítulo 7

Gestão de recursos: Estudo para eliminação de falta de materiais para manutenção de vagões

Davidson Tadeu dos Santos
Jussara Fernandes Leite
Luciano José Vieira Franco
Fernando de Souza Santana
Luciano Rodrigues dos Anjos

Resumo: Esta pesquisa tem como objetivo apresentar medidas para reduzir a falta de materiais para a execução de manutenção em vagões em uma empresa brasileira de logística e transporte ferroviário, em especial verificou-se que o componente chapa com moldura falta em estoque. A partir disso, foi proposto um questionário com equipe de metalúrgicos dela, visando identificar se realmente ocorre a falta de material, o tempo para aplicação da chapa e duração para produção de uma, caso não esteja disponível em estoque. Depois foi procurada a equipe de suprimentos para coleta de informações de sistema, contudo foi diagnosticado que o sistema não anda de acordo com o físico. Com base nos resultados encontrados, constatou-se a necessidade de treinamento de equipe do almoxarifado para ocorrer assertividade de estoque, tanto no sistema quanto no físico. Também foram propostos quatro cenários visando a eliminação da falta ou necessidade de produção da chapa soldada no momento da manutenção. Como sugestão de pesquisa futura destaca-se o estudo de vida útil da chapa para diminuir a sua aplicação em manutenção corretiva e melhoria contínua do setor de estoque.

Palavras-chave: Vagão, Falta de Material, Chapa, Estoque, Manutenção.

1. INTRODUÇÃO

As ferrovias desde o seu início foram um dos principais meios de transporte para o abastecimento de portos e cidades espalhadas pelo Brasil. Esse meio de transporte tem várias vantagens em relação aos outros modais, como a alta capacidade de carga, o que o leva a ser ideal para transportar produtos de baixo valor agregado, por exemplo, minérios, produtos agrícolas, fertilizantes, carvão, etc., conforme apresenta Nogueira (2018). Esses produtos apresentados são denominados commodities, que são muito importantes na economia brasileira, pois compõem parte considerável do PIB do Brasil.

Devido ao pouco investimento no setor ferroviário no final do século passado, elas tiveram uma freada em seu crescimento, como também sucateamento por falta de manutenção. O sucateamento ocorreu devido à falta de recurso monetário para a realização das manutenções corretivas e preventivas.

No Brasil, devido ao aumento do preço dos combustíveis que impacta diretamente no custo de transportes, como também o aumento da produção de commodities, governo e empresários viram a necessidade de voltar a investir no transporte ferroviário. Desta forma, foi dado um passo evolutivo, ampliando os mecanismos de investimento no setor ferroviário. Sobre essa abordagem, vale ressaltar que a Medida Provisória nº 1.065, de 30 de agosto de 2021, trouxe um novo marco regulatório para o setor ferroviário no Brasil. A principal novidade foi a possibilidade de outorga por autorização, como já era possível nos âmbitos portuário e aeroportuário.

Para a utilização do modal ferroviário, o governo e as empresas que adquirem as concessões das ferrovias necessitam reservar recursos para mantê-las em funcionamento. Dessa forma, um planejamento deve ser desenvolvido para a realização das manutenções corretivas e preventivas dos ativos. Esses ativos são os vagões, as locomotivas, as vias, como também as sinalizações. No planejamento, deve ser dimensionado os recursos necessários para realização das manutenções, ou seja, peças, componentes, ferramentas, dentre outros.

Os gestores devem buscar a otimização dos custos, para isso deve dimensionar os recursos para que não seja comprado em quantidade maior e nem menor que o necessário. A falta de materiais pode repercutir no aumento do tempo necessário para realização das manutenções, que aumenta a indisponibilidade dos ativos.

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo apresentar medidas para reduzir a falta de materiais para execução da manutenção em vagões em uma empresa brasileira de logística e transporte ferroviário. É a atual concessionária que opera em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, que concentram cerca de metade do PIB brasileiro.

A produção é diversificada nos transportes de contêineres, siderúrgicos, cimento, bauxita, agrícolas, coque, carvão e minério de ferro, esta malha conecta regiões produtoras de commodities minerais e agrícolas e alguns dos principais parques industriais do país aos maiores portos da região Sudeste. No mesmo sentido, este artigo pretende sugerir estratégia para não ocorrer falta de materiais, em consequência, ganhar em redução de custo.

2. TRANSPORTE FERROVIÁRIO

O transporte ferroviário brasileiro se destacou recentemente para ampliar a obtenção de novos investimentos. Esse fato teve como motivação a previsão de crescimento de setores da economia que necessita desse modal para escoar sua produção. Sobre esse assunto, Campos (2018) ressalta que a Associação Nacional dos Transportes Ferroviários (ANTF) prevê um crescimento de 30% no setor de cargas por ferrovias até 2026, além da previsão de investimentos no setor da ordem de R$25 bilhões nesse período.

No estado de Minas Gerais, onde se concentra grande parte das malhas ferroviárias do Brasil, novas oportunidades no Setor Ferroviário são informadas pelo governador Romeu Zema. Dois protocolos de intenção, com expectativa de geração de 10 mil empregos e investimentos de 29 bilhões, foram assinados durante o #VempraMinasFerrovias, evento voltado para o fomento de toda a cadeia. O Plano Estratégico Ferroviário (PEF), do Governo de Minas, já está gerando resultados e colocando em prática a diversificação da matriz de transporte no estado, hoje concentrada no modal rodoviário. (MINAS GERAIS, 2022)

2.1. MANUTENÇÃO E SEUS TIPOS

Slack et al. (2002) “observara-se que o termo manutenção é usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando das suas instalações físicas”.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) “a definição de manutenção é a combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão, com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”, afirmando a necessidade de organização para realização de toda e qualquer manutenção.

Na visão de diversos autores existem vários tipos de manutenções, que foram surgindo conforme a evolução dos estudos sobre esse tema. Neste artigo, o foco se dará nas manutenções corretivas e preventivas.

Assim, de acordo com Paschoal (2009), manutenção corretiva é uma forma primária de manutenção, pode sintetizar-se pelo ciclo "quebra-repara", ou seja, o reparo dos equipamentos após a avaria.

A manutenção preventiva pode ser considerada “ações preventivas baseadas no tempo ou de acordo com critérios preestabelecidos”, tendo então como principal objetivo “reduzir e eliminar a incidência de falhas ou a degradação das funções de um equipamento” (XENOS, 2004, p.135).

2.2. GESTÃO DE RECURSOS MATERIAIS PARA A MANUTENÇÃO

Para a realização das manutenções em ativos do modal ferroviário, a gestão dos materiais de forma eficiente é essencial para que qualquer organização consiga atender as demandas de manutenções corretivas e preventivas.

Com foco na maximização dos lucros e com clara visibilidade do alto custo que os estoques podem gerar, as organizações buscam desenvolver suas áreas no que tange o aperfeiçoamento do uso eficiente dos meios internos de gerenciamento. A princípio

estabelecer políticas de estoque é uma das formas mais confiáveis e seguras para essa inicial tomada de decisão (DIAS, 2010).

De acordo com Costa (2002, p.19), é comum que a direção da empresa questione o administrador de materiais sobre a situação atual dos estoques. A propósito de evitar tais entraves, é necessária a adoção de medidas de controle, porém, problemas com custos, periodicidade e volumes a serem adquiridos são problemas frequentes em qualquer organização detentora de um estoque.

Dias (2010), explica que "toda gestão de estoque está pautada na previsão do consumo do material. [...] Estabelece, portanto, quais produtos, quanto desses produtos e quando serão comprados ou fabricados".

Segundo Ching (2010, p.21), os objetivos da gestão de estoque se devem ao "planejamento do estoque, seu controle e sua retroalimentação sobre o planejamento". Sendo que o planejamento abordará os gastos que o estoque apresentará devido à entrada e saída de itens estocados e pela determinação dos pontos de pedido desses itens. Em seguida o controle usará os registros das informações reais que foram baseadas no ato do planejamento. Assim a retroalimentação terá o resultado das causas geradas pelos desvios ocasionados pela comparação entre os dados de controle e os de planejamento.

De modo geral, Bowersox e Closs (2010) afirmam que as organizações utilizam a gestão de estoque para desenvolver e implantar as políticas estratégicas de estoque dentro do processo gerencial. Assim a gestão de estoque estabelece as atividades de reserva que serão utilizadas mediante o desempenho e a necessidade de cada organização. Isto significa que as atividades geradas pela gestão de estoque, implicarão na execução das outras atividades da logística integrada. Então, os objetivos da gestão de estoque apenas serão alcançados quando os níveis de serviços, que compõe o processo integrado logístico, forem executados em sintonia.

3. O ESTUDOS DE CASO

Essa pesquisa é um estudo de caso, realizado em uma empresa que atua no setor de transporte ferroviário, localizada na Região do Alto Paraopeba, Minas Gerais. O estudo ocorreu no período de fevereiro a outubro de 2022.

O atual trabalho se refere a uma pesquisa exploratória com o objetivo de apresentar medidas para reduzir a falta de materiais para execução da manutenção em vagões em uma empresa brasileira de logística e transporte ferroviário. Desta forma, inicialmente foi apresentado o problema, que consiste na falta de componentes para realização de manutenção em vagão. Para isso os dados foram obtidos por meio de observação do autor da pesquisa, que participa ativamente do processo, questionário aplicado aos metalúrgicos que exercem a atividade de manutenção e sistema de informação de registro de materiais do almoxarifado da empresa.

Todos os dados foram analisados pela técnica de estatística aplicada e análise de conteúdo para o desenvolvimento de medidas para reduzir a falta de materiais para execução da manutenção em vagões, como também a conclusão da pesquisa.

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

A Logtrem é uma empresa situada na Região do Alto Paraopeba, responsável pelo escoamento de minério de ferro. Ela possui cerca 5000 funcionários atuando na área administrativa, produtiva, manutenção, dentre outras. Em relação aos ativos a empresa possui aproximadamente 800 locomotivas e 20.000 vagões. O que representa cerca de 20% da frota ferroviária nacional.

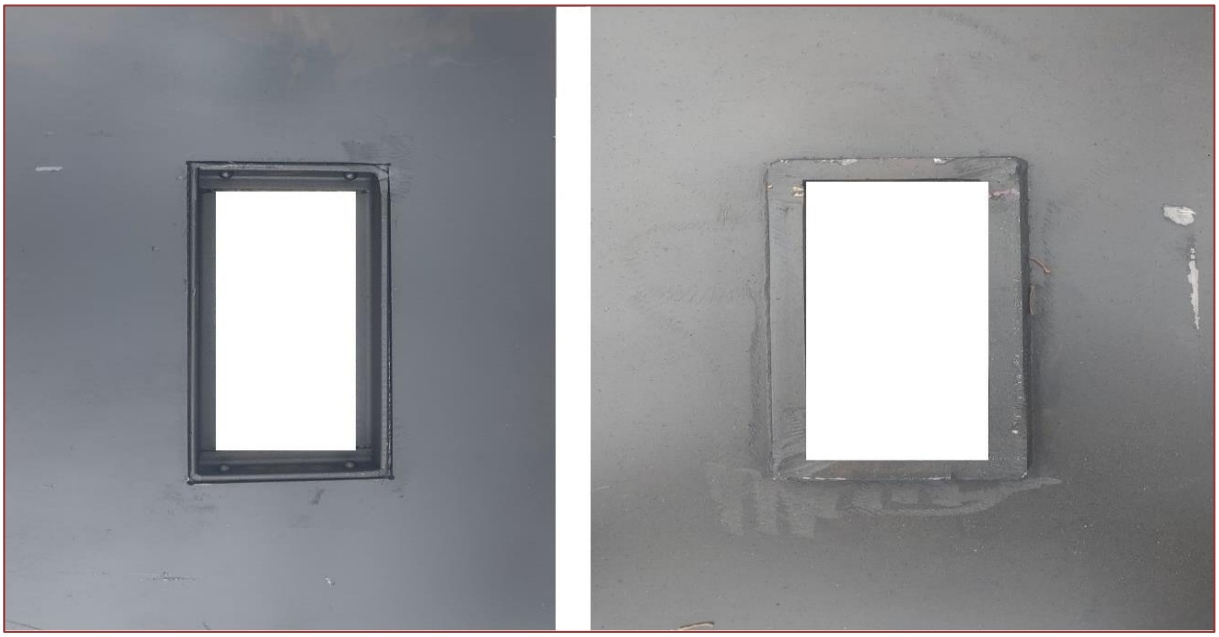
Como a empresa tem um número expressivo de ativos, há a necessidade de desenvolvimento de um planejamento de manutenção detectiva, preventiva e corretiva, para que não faltem recursos para realizar a supervisão. Esse planejamento deve ser elaborado por funcionários que tenham conhecimento e informações sobre o número de revisões que devem ser realizadas. Uma das informações é o histórico do número de recursos utilizados nas manutenções.

O problema identificado foi à falta da chapa soldada com moldura para realizar as manutenções nos vagões. Esse problema foi observado pelo autor da pesquisa que atua na área de manutenções de vagões e por relatos de funcionários na função de metalurgia.

3.1.1. PROBLEMA

A pesquisa tem como problema a falta de chapas soldada com moldura, que é um recurso utilizado para realizar as manutenções dos vagões. Ela encontra-se dentro dos vagões e é utilizado para facilitar o escoamento da água que pode vir advinda de chuvas que podem ocorrer durante o transporte logístico do produto minério de ferro, com isso evitando que ele fique em forma de lama. A Figura 1 a seguir mostra a imagem desse componente.

Figura 1: Visão Superior e Inferior da Chapa.



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

A chapa é composta por uma moldura de aço SAE 1010/1020 com medidas internas de 278mm x 128mm e externas de 290mm x 140mm; a chapa retangular 4,75mm (3/16"") em aço ASTM A-242 ou A-588, com dimensões externas de 600mm x 400mm para substituição no assoalho. O peso total da chapa é de 4 quilogramas. Na Figura 2, pode ser observada a chapa com filtro aplicada em um vagão.

Figura 2: Visão da chapa aplicada no assoalho do vagão.

Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

Assim, como dito anteriormente, um questionário foi desenvolvido e aplicado aos funcionários da função de metalurgia. Os resultados desse questionário podem ser verificados a seguir.

3.1.2. RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO APLICADO AOS METALÚRGICOS

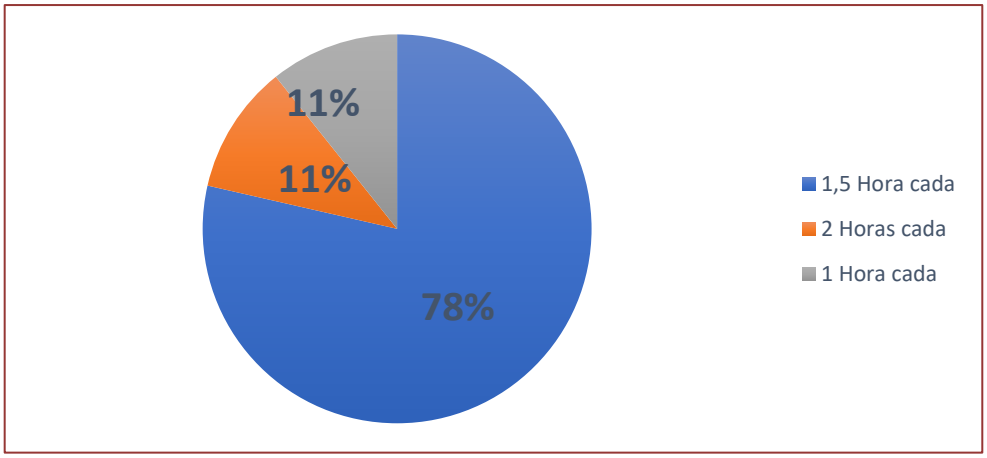
A pesquisa com os colaboradores da empresa Logtrem foi realizada com 28 de um total de 28 metalúrgicos da empresa, o que representa 100% da equipe que trabalha em uma das áreas de manutenção da mesma.

A primeira pergunta abordou o tempo necessário para aplicar a chapa com moldura no vagão.

Pergunta 1: Qual tempo necessário para executar a solda da chapa com moldura no vagão?

As respostas à pergunta 1 podem ser verificadas por meio do Gráfico 1, que apresenta o percentual de tempo padrão para realizar a solda dela.

Gráfico 1 – Tempo de Execução dos Metalúrgicos para a Atividade de Aplicar a Chapa com Moldura no Vagão.



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

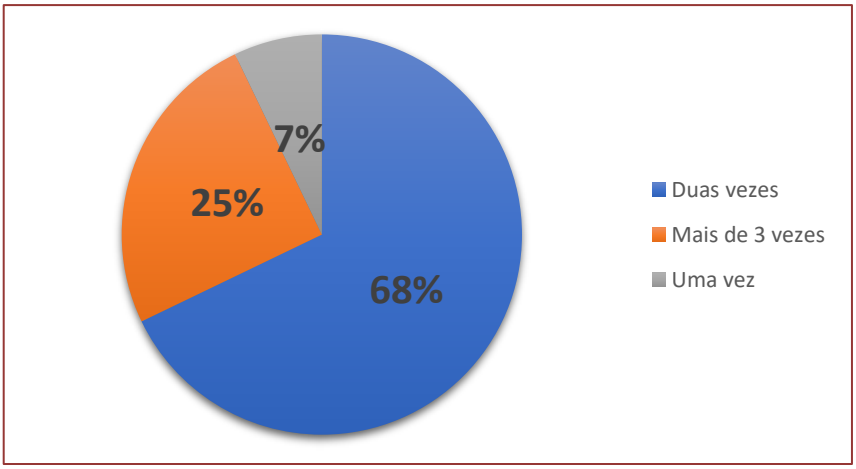
Pode-se observar que o tempo gasto por 78% dos metalúrgicos para aplicar a chapa com moldura no vagão é de 1,5 horas. Verifica-se também no Gráfico 1 que 11% informaram a necessidade de 1 hora, e outros 11% dos metalurgicos precisam de 2 horas para realizarem a atividade.

A segunda pergunta busca identificar quantas vezes (frequência) faltou o componente chapa com moldura em estoque em um mês.

Pergunta 2: Quantas vezes já ocorreu a falta do componente chapa com moldura no estoque no período de um mês?

As respostas à pergunta 2 podem ser verificadas por meio do Gráfico 2, que apresenta o percentual de vezes que faltou o material no período de um mês.

Gráfico 2 – Percentual de Frequência de Falta da Chapa com Moldura em Estoque no período de um mês.



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

De acordo com o Gráfico 2, 68% dos colaboradores relataram que houve falta de material duas vezes em um mês, 25% apresentaram que a falta ocorreu mais de 3 vezes no mês e 7% dos metalúrgicos apontaram uma única vez no mês.

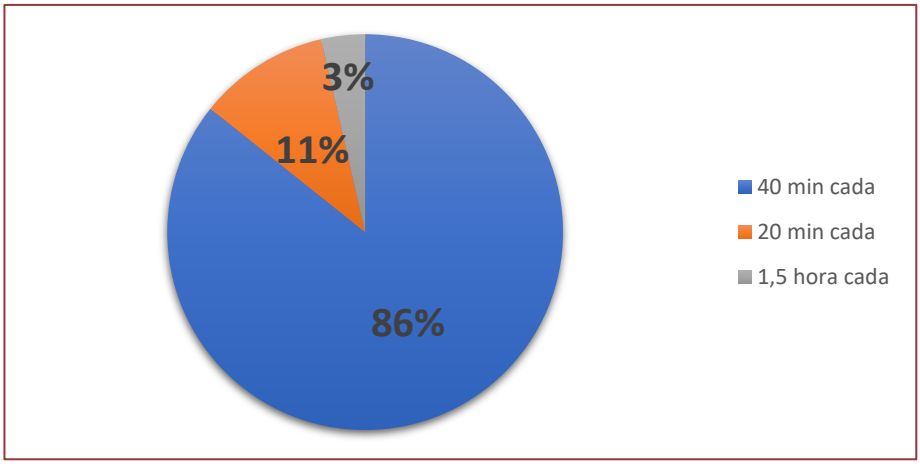
Pode-se afirmar, baseado nos resultados da pergunta 2, que sempre ocorreu falta da chapa com moldura em estoque, pois todos os 28 metalúrgicos informaram que há falta desse componente em pelo menos uma vez ao mês.

É importante destacar que a falta do componente chapa com moldura, leva aos metalúrgicos a terem que produzi-la, pois a parada do ativo gera indisponibilidade da frota, consequentemente custos maiores. Nesse sentido, a terceira pergunta buscou identificar o tempo necessário para produzir uma chapa com modura.

Pergunta 3: Quanto tempo para produzir uma chapa com moldura?

As respostas à pergunta 3 podem ser verificadas no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Tempo para produção da chapa.



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

Nota-se por meio do Gráfico 2, que os 86% dos metalúrgicos informam que para produzir uma chapa com moldura são necessários 40 minutos, 11% informaram que são necessários 20 minutos e 3% relatam que são necessárias 1,5 horas.

3.1.3. RESULTADOS DO ESTUDO

Em sequência, foram coletados os dados do sistema dos suprimentos onde foram identificados os itens que são consumidos diariamente nas manutenções corretivas e preventivas. Dentre uma quantidade de 3789 itens, apresenta-se o componente Chapa com moldura.

Assim, foram coletados dados sobre a quantidade de chapas que foram utilizadas em manutenções Corretivas e Preventivas no período de janeiro a junho 2022. A quantidade total de chapas pode ser observada na Tabela 1 a seguir.

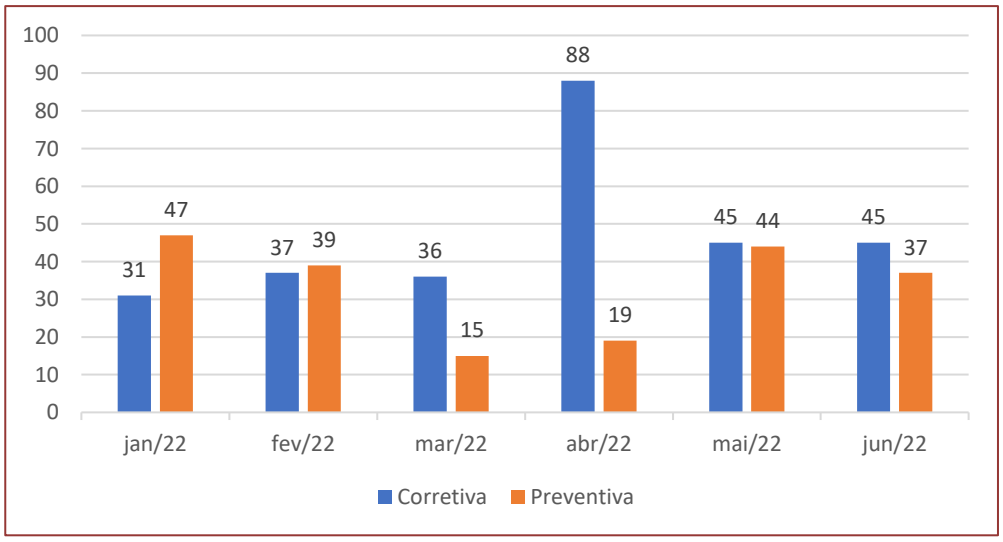
Tabela 1 – Dados de Consumo - Janeiro a Junho – 2022

Mês / Descrição	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22
Corretiva	31	37	36	88	45	45
Preventiva	47	39	15	19	44	37
Total C + P	**78**	**76**	**51**	**107**	**89**	**82**
Recebimento	167	20	160	1	159	0
Projeção de Ressuprimento	167	187	347	348	507	507
Projeção de demanda	78	154	205	312	401	483

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A partir da Tabela 1, o Gráfico 4 foi elaborado com a finalidade de auxiliar na análise dos dados de consumo da Chapa.

Gráfico 4 – Consumo corretiva x preventiva.



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

O Gráfico 4 apresenta a relação de quantidades utilizadas da chapa com moldura, componente utilizado na manutenção corretiva e preventiva de janeiro a junho de 2022.

Nesta parte da pesquisa, outro problema identificado foi que a quantidade de chapa com moldura registrada no sistema não condiz com a quantidade de chapa com moldura em estoque. Isso ocorreu devido à falta de registro de saída do produto no sistema pelos operadores do almoxarifado. Esse problema se torna grave para a realização de um planejamento adequado de necessidade dos componentes que atendam a demanda das manutenções.

3.1.4. MEDIDAS PARA A REDUÇÃO DE FALTA DE MATERIAIS

A partir da análise deste estudo observam-se duas não conformidades encontradas: falta do componente chapa com moldura em estoque para realizar as manutenções e quantidade de componente divergente entre sistema eletrônico e físico. Com o propósito de resolver essas não conformidades, foi sugerida a seguinte medida e posteriormente quatro cenários:

Primeira Medida: realizar treinamento com todos os operadores de almoxarifado para conscientizar a realização do registro de saída e entrada de componente no momento da entrada ou retirada do produto do almoxarifado. Isso para que sistema eletrônico e físico não fiquem divergentes.

Além da conscientização dos operadores de almoxarifado sobre a importância de ter um sistema eletrônico de acordo com o físico, o treinamento consiste em apresentar para os colaboradores as seguintes técnicas importantes para uma boa gestão de estoque como:

1. Previsão de demanda: identificar a demanda de cada produto, considerando suas variações, sendo possível manter o estoque atualizado sem exagero ou escassez;

2. Monitoramento de entrada e saída: acompanhar de modo correto a entrada de produtos e saída deles realizando sempre conferência.

3. Padronização: Utilizar de modo correto toda documentação como codificação, endereçamento, para não ocorrer erros em separação dos materiais;

4. Inventário: Fazer inventário de tempos em tempos de modo a manter estoque em ordem e correto;

5. Relacionamento com fornecedores: Manter boa relação com fornecedores para que não possa comprometer toda a cadeia de produção, pois é fundamental fazer parcerias com prestadores de serviços bem qualificados.

Com a equipe treinada e aplicando de forma correta o conhecimento aprendido, poderemos ter agora a realidade de como está o estoque para a manutenção ser realizada nos ativos da empresa.

A partir dos dados coletados, é possível criar cenários que possam vir atender a necessidade de componentes e evitar a falta de material. No entanto, os dados devem ser regularizados para que as projeções sejam realizadas com valores corretos. Desta forma, os cenários a seguir são exemplos realizados a partir dos dados registrados no sistema, que são divergentes do físico.

Cenário 1:

Neste cenário, não existe pedido de peças, deve ocorrer a produção das peças de forma que não exista a falta de material para a manutenção, ou seja, a peça é feita previamente. Para isso, devem ser feitas na primeira semana do mês e em seguida estocada para aplicação nos ativos.

Uma fragilidade desse cenário é o aumento da carga de trabalho dos metalúrgicos, pois terá ampliação de horas trabalhadas.

O planejamento seria com quantidades certas em cada mês para produção, um total de 308 peças o que levaria 203 horas. Na Tabela 2, pode-se observar a quantidade

que deve ser produzida pelos metalúrgicos no período de junho a dezembro de 2022, como também as horas trabalhadas que serão necessárias para realizar a produção.

Tabela 2 – Cenário 1 – Demanda de Chapas com Moldura – Produção Total

	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Qt Produzidas	50	50	42	42	42	42	40
Total Horas Para Produzir	33	33	28	28	28	28	26

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A Tabela 2 mostra como seria feita esta organização para a produção das chapas apresentando a quantidade de peças feitas por mês e quantas horas são necessárias para a produção, onde todos os meses são produzidos certas quantidades de componentes.

Cenário 2:

O segundo cenário tem como proposta fazer o pedido de 1/3 da quantidade necessária que seriam 101 peças no mês de julho 2022 e a produção das restantes seguindo a linha que foi feita no Cenário 1, isto é produzir antecipadamente. Nessa situação utiliza a mão de obra do metalurgico, porém com menor carga de trabalho. Nesse cenário ocorrerá um total de 135 horas e produção de 205 peças a partir do mês de agosto 2022. A Tabela 3 apresenta como ficará a projeção desse cenário.

Tabela 3 – Cenário 2 – Produção de 2/3 das peças que faltam

	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Qt Produzidas	0	0	41	41	41	41	41
Total Horas Para Produzir	0	0	27	27	27	27	27

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A Tabela 3 apresenta como seria feita a produção pelos metalúrgicos, já havendo realizado o pedido de 1/3 das peças, que seria a partir de agosto finalizando em dezembro com quantidades corretas para cada mês.

Cenário 3:

No cenário 3, a proposta apresenta o pedido de ½ do total que totaliza 152 peças. O pedido seria feito em julho 2022 e produção se iniciaria em setembro 2022.

Tabela 4 – Cenário 3– Produção de metade das peças

	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Quantidade Peças	0	0	0	50	50	52	0
Total Horas Para Produzir	0	0	0	33	33	34	0

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Na Tabela 4, pode-se observar como seria a produção de metade das peças feitas pelos metalúrgicos que se iniciaria em setembro, com objetivo de suprir a necessidade total identificada via sistema.

Cenário 4:

Este apresenta o pedido total das peças para completar a demanda do ano que seria 304 unidades, segundo avaliação de necessidade via sistema. Seriam feitos dois pedidos com 152 unidades cada um, no mês de julho e outro em setembro 2022 o que atenderia de forma correta.

Tabela 5 – Cenário 4 –Produção de metade das peças

	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Quantidade Peças:	0	152	0	152	0	0	0
Total Horas Para Produzir	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Na Tabela 5, apresenta como seria o abastecimento realizado por dois pedidos e elimina a necessidade de produção de peças.

Na Tabela 6 pode ser observado o comparativo do que ocorre na empresa e os valores dos quatro cenários propostos e consegue notar o estoque final em dezembro de 2022.

Tabela 6 – Comparação de Real x Cenários Projeção de Ressuprimento

	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Real	507	507	507	507	507	507	507
Cenário 1	557	607	649	691	733	775	815
Cenário 2	507	608	649	690	731	772	813
Cenário 3	507	659	659	709	759	811	811
Cenário 4	507	659	659	811	811	811	811

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Por meio da Tabela 6, observa-se que o estoque final atende nos cenários propostos. Cada um com seu funcionamento para atender a demanda necessária da empresa, seguindo informações de sistema, para a manutenção de seus ativos. A Tabela 7 apresenta a quantidade de ressumprimento dada por cada cenário:

Tabela 7 – Comparação de Real x Cenários Projeção de Falta/Ressuprimento

	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Real	24	-38	-92	-145	-199	-251	-304
Cenário 1	74	62	50	39	27	17	4
Cenário 2	24	63	50	38	25	14	2
Cenário 3	24	114	60	57	53	53	0
Cenário 4	24	114	60	159	105	53	0

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Pode-se notar que a projeção Real realizada com o planejamento de manutenção que necessitam da chapa com moldura atualmente não atende a demanda. Desta forma, é sugerido a aplicação de um dos modelos, que são denominados de cenários para ser implementado para evitar parada ou atraso da mão-de-obra para a liberação do ativo e indisponibilidade de frota de vagões.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo apresentar medidas para reduzir falta de materiais para execução da manutenção em vagões. Para isso foi aplicado um questionário via formulário do google a 28 metalúrgicos da empresa Logtrem e dados referentes as quantidades do material foram coletadas com área de suprimentos dela.

A partir da análise das respostas dos colaboradores, podemos notar que pelo menos duas vezes ao mês há falta de material, que leva 1,5 horas para aplicação e a produção de cada unidade leva, aproximadamente 40 minutos. Diante da verificação dos dados da área de suprimentos foi constatado a falta das peças a partir de julho de 2022, evidenciando a necessidade de alternativas para eliminar essa não conformidade.

Dessa forma, foram propostos quatro cenários visando extinguir falta de material, sendo que três cenários envolvem a fabricação da chapa o que agrega maior tempo disponível dos colaboradores de forma planejada. No entanto a quarta situação atende a demanda esperada para o resto do ano e não prejudica a produtividade da equipe, pois a produção será planejada para o recebimento total das chapas necessárias em dois pedidos, nos meses de julho e setembro de 2022.

Em oportunidade é mais indicado utilizar o quarto cenário, mas, sendo observado que terá obrigatoriamente de ser feito o treinamento com área do almoxarifado, desta forma os cenários podem atender a demanda da empresa para o atual momento, porém, independente da opção escolhida a empresa necessita implantar a medida e combiná-la com um dos possíveis cenários, assim o problema da falta de material será resolvido, seguindo os dados apresentados neste trabalho.

Como sugestão de pesquisa futura destaca-se o estudo de vida útil da chapa para diminuir a sua aplicação em manutenção corretiva e melhoria contínua do setor de estoque.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenabilidade. Rio de Janeiro, 2004.

[2] BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2010.p. 229.

[3] CAMPOS, PAULO Henrique Caniato. Produtividade da mão de obra direta: Uma alavanca estratégica para uma gestão da manutenção enxuta. Juiz de fora, 2018.

[4] CHING, Hong Yuh. Gestão de estoque na cadeia de logística integrada – Supplychain. 4º edição. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

[5] COSTA, Fábio J. C. Leal. Introdução à administração de materiais em sistemas informatizados. São Paulo: Ieditora, 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/6582816/Introducao-a-Administracao-de-Materiais-Em-Sistemas-Informatizados-Nadia> Acesso em: 12 de abril de 2022.

[6] DIAS, Marco Aurélio P. Administração de Materiais: Uma Abordagem Logística. 5º edição. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

[7] MINAS GERAIS. Minas Gerais atrai R$ 29 bilhões em investimentos no setor ferroviário. Disponível em :https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/minas-gerais-atrai-r-29-bilhoes-em-investimentos-no-setor-ferroviario. Acessado em 16 de abril de 2022 às 22he09min

[8] NOGUEIRA, Amarildo de Souza. Logística empresarial: um guia prático de operações logísticas. 2. ed. – São Paulo: Atlas, 2018.

[9] PASCHOAL, Débora Rodrigues de Souza,Et.al. Disponibilidade E Confiabilidade: Aplicação DA Gestão DA Manutenção Na Busca De Maior Competitividade. Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA nº. 03 jan./jun. 2009.

[10] RAMALHO, P. R. A. M. O novo marco regulatório das ferrovias brasileiras. Abril, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/conjur/o-novo-marco-regulatorio-das-ferrovias-brasileiras.Acesso em: 18-09-2022 às 20h57min.

[11] SLACK, N. et al. Administração da Produção. 2. Ed., São Paulo, Atlas, 2002

[12] XENOS, H. G. Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: INDG Tecnologia e serviços Ltda, 2004.

Capítulo 8

Utilização da curva ABC no gerenciamento de estoque em farmácia hospitalar

Ana Cristina Corrêa Freitas
Luciano José Vieira Franco
Jussara Fernandes Leite
Fernando de Souza Santana
Bruno Silva Alencar

Resumo: Em uma farmácia hospitalar, é onde se encontra o que representa uma parcela bem significativa dos custos, pois os medicamentos e materiais utilizados em um hospital são armazenados nela. Desta forma, os gestores devem suprir as necessidades dos hospitais investindo de forma consciente para evitar desperdícios e estoques parados. Os custos elevados podem inviabilizar e comprometer a sobrevivência da instituição. Neste contexto, este artigo tem como objetivo analisar o consumo e os valores financeiros de cada item e propor melhorias na gestão de estoque a partir da aplicação da curva ABC. Esta pesquisa se caracteriza como um estudo de caso descritivo e exploratório, com dados de natureza qualitativos e quantitativos. Foi feito um levantamento de quais itens compõem o estoque a fim de analisar o consumo e custos dos materiais e medicamento. Com o desenvolvimento, foi identificado que os medicamentos Meropenem e Ceftazidima são os que provocaram maior gastos para o hospital. Contudo, o processo de tomada de decisões fica embasado num controle eficiente, para proporcionar decisões mais assertivas em relação ao gerenciamento de estoques, otimizar os resultados, proporcionar a redução de custos e melhorar o giro.

Palavras-chave: Curva. Custos. Estoque. Farmácia. Gestão.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Slack (2008, p. 299), "o estoque é o acúmulo de recursos transformados em materiais, informação, dinheiro, e às vezes em clientes". Nesse sentido, os estoques devem ser bem gerenciados para atender a demanda.

O serviço de farmácia hospitalar possui muitas atribuições complexas, dentre elas a gestão de estoque. A boa atuação em uma farmácia hospitalar dentro da gestão de estoque é imprescindível, já que seu desempenho tem como resultado o controle de custos, assim como a qualidade na prestação do serviço de assistência ao paciente. Todos os itens são importantes no estoque, embora é necessária uma maior atenção principalmente nos itens que demandam maior valor financeiro para a instituição. Além desse fator, o hospital não pode sofrer solução de continuidade gerando queda na qualidade da assistência por falta de alguns itens (GOMES; REIS,2003).

A Classificação ABC, também conhecida como Curva ABC ou Curva de Pareto, é muito utilizada na gestão de estoque para classificar os itens levando em conta seu valor financeiro unitário e a quantidade consumida por determinado período. O método estabelece quais os itens que representam o menor e o maior custo financeiro da instituição, sendo a curva A que corresponde a 80% do custo financeiro, a B 15% do valor, enquanto que a C são 5% do valor total. No geral, esse percentual varia de acordo com cada autor, com efeito, cada gestor estabelece a margem mais adequada para seu controle.

No cenário atual, as empresas estão sempre em busca de redução de custos. Para isso, os gestores procuram formas de gerenciar os processos para garantir que não haja perdas financeiras. Sendo assim, utilizam ferramentas que auxiliam na avaliação e organização dos processos para que seja possível uma melhor solução para tomada de decisão.

As dificuldades em gerir estoque em empresas são muitas. Isso devido à falta de conhecimento dos gestores e funcionários que atuam com estoque área, como também de ferramentas que auxiliam na tomada de decisão. Neste contexto, o objetivo deste estudo é analisar o consumo e os valores financeiros de cada item e propor melhorias na gestão de estoque a partir da aplicação da curva ABC.

2. A FARMÁCIA HOSPITALAR

O serviço de farmácia hospitalar é bastante complexo, mas indispensável para qualquer hospital. Ele é responsável pelo movimento do material e medicamento utilizado no tratamento dos pacientes que necessitam de algum cuidado em específico.

Conforme Juliani (2014), a farmácia é o setor responsável não só pela guarda e liberação de medicamentos, mas também pela sua aquisição, controle de qualidade e armazenamento, validação de doses e compostos necessários para cada tipo de procedimento e ajuda na assistência ao atendimento correto ao paciente de acordo com a prescrição médica. Portanto, se torna um setor com atividades tanto clínicas quanto administrativas.

> A farmácia hospitalar deve desenvolver atividades clínicas e relacionadas à gestão. A farmácia é um setor do hospital que demanda elevados valores orçamentários, por isso o farmacêutico deve assumir atividades gerenciais para contribuir com a eficiência

> administrativa e, consequentemente, com a redução dos custos (CRF-SP, 2013, p.14).

As atividades desenvolvidas pela farmácia hospitalar podem ser observadas sob o ponto de vista da organização sistêmica da Assistência Farmacêutica. Segundo a Resolução nº 338/2004, do Conselho Nacional de Saúde, Assistência Farmacêutica é:

> (...) um conjunto de ações voltadas à promoção, proteção e recuperação da saúde, tanto individual como coletiva, tendo o medicamento como insumo essencial e visando ao acesso e ao seu uso racional. Este conjunto envolve a pesquisa, o desenvolvimento e a produção de medicamentos e insumos, bem como a sua seleção, programação, aquisição, distribuição, dispensação, garantia da qualidade dos produtos e serviços, acompanhamento e avaliação de sua utilização, na perspectiva da obtenção de resultados concretos e da melhoria da qualidade de vida da população.

Neste contexto, é muito importante que o farmacêutico conheça bem, além da parte técnica, também a administração de empresas, bem como as ferramentas administrativas úteis no dia a dia, os recursos humanos e financeiros e o mais importante, que será abordado neste trabalho, a administração de matérias e logística, conhecido como gestão de estoque.

2.1. GESTÃO DE ESTOQUE

De acordo com Moura (2004), estoque é um conjunto de bens armazenados que com suas características próprias, atendem as necessidades e objetivos da empresa. Sendo assim, todo item que é armazenado em almoxarifado, prateleira, depósitos ou gavetas para ser utilizado pela empresa em sua produção, é considerado um item de estoque da organização.

Planejar e controlar estoque são fatores muito importantes numa boa administração. A preocupação é com os problemas quantitativos e financeiros dos materiais e, no caso deste trabalho, também dos medicamentos. Segundo Pozo (2015), existe uma lista simplificada dos objetivos do planejamento e controle de estoque. Segue a mesma ajustada para a área de farmácia hospitalar:

- Assegurar o suprimento adequado ao atendimento ao paciente;
- Manter o estoque o mais baixo possível para atendimento compatível às necessidades;
- Identificar os itens parados, vencidos ou estragados em estoque para eliminá-los;
- Não permitir condições de falta ou excesso em relação as demandas;
- Prevenir-se contra perdas, danos, extravios ou mau uso;
- Manter as quantidades em relação às necessidades e aos registros;

- Fornecer informações concretas para planejamento de curto, médio e longo prazo, das necessidades de estoque;
- Manter os custos nos níveis mais baixos possíveis, levando em conta a demanda atual, os prazos e recursos.

A gestão de estoque surge quando há necessidade de armazenamento dos produtos, e assim sua organização precisa ser feita da melhor maneira possível, onde exista rotatividade para evitar a perda de produtos por validade ou por algum dano decorrente do mal cuidado ou por falta de distribuição.

Slack et al. (2009) dizem que o planejamento dos estoques é a formalização do que se precisa de materiais e insumos. Porém, nem sempre a previsão garante que vai ocorrer uma falta inesperada pois o ambiente hospitalar é muito incerto tendo determinados períodos que saem materiais e medicamentos diferentes ao mesmo tempo.

No geral, uma das maiores preocupações para a gestão de estoque é o seu custo e assim, saber identificar a demanda correta, bem como o tempo ou período correto da aquisição de produtos para consumo.

> A manutenção da competitividade depende diretamente da forma com que os materiais são geridos, os quais devem possuir níveis compatíveis com suas demandas como também as compras necessitam ser cada vez mais ágeis, para que possam atender às necessidades de aumento da velocidade da renovação dos estoques. (COSTA, 2002, p.18)

2.1.1. A CURVA ABC

A curva ABC é um método bastante eficiente para tomada de decisões. É utilizada a séculos e, sem que percebam, está presente no dia a dia das pessoas. Ela é muito importante para os negócios, onde ajuda fundamentalmente no planejamento e vendas e na gestão de estoque.

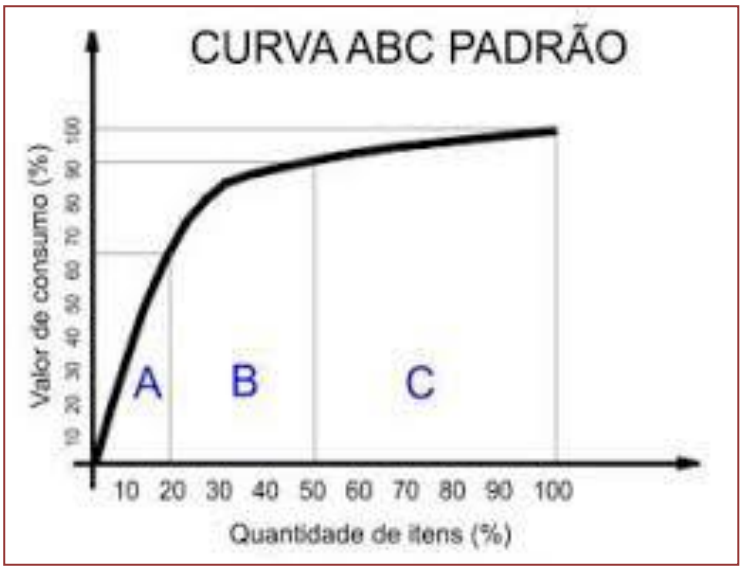
Este método é utilizado para classificar e ordenar as informações pelo seu grau de importância, ou seja, é a forma como se identifica o que tem maior ou menor valor. É classificada por 3 categorias: A, B e C, onde, na farmácia hospitalar, o A representa os produtos que somam maior valor, o B os itens de valor médio e o C os de faturamento com menor valor.

Vários autores apresentam um percentual, na curva ABC, que correspondem a cada classe. Aqui utilizaremos a classificação conforme Carvalho (2002, p. 227), onde apresenta:

> - Classe A: de maior importância, valor ou quantidade, correspondendo a 20% do total (podem ser itens do estoque com uma demanda de 65% num dado período);
>
> - Classe B: com importância, quantidade ou valor intermediário, correspondendo a 30% do total (podem ser itens do estoque com uma demanda de 25% num dado período);
>
> - Classe C: de menor importância, valor ou quantidade, correspondendo a 50% do total (podem ser itens do estoque com uma demanda de 10% num dado período).

Ainda segundo Carvalho (2002), o gráfico deve seguir algumas etapas para sua construção, com base em uma tabela mestra que deve ser, também, criada. A representação gráfica demonstra o conceito utilizado pelo cálculo feito da curva ABC.

Figura 1 – Gráfico da Curva ABC Padrão.



Fonte: Carvalho (2002)

3. O ESTUDO DE CASO

O presente trabalho é um estudo de caso descritivo, exploratório e quantitativo, realizado em uma farmácia hospitalar. Ele se caracteriza como estudo de caso descritivo. No desenvolvimento, foi feito a relação de medicamentos do hospital.

A metodologia deste trabalho segue a orientação da pesquisa exploratória, descritiva e com tratamento de dados quantitativos. Abrangeu o setor de farmácia hospitalar com o objetivo de analisar o consumo e os valores financeiros de cada item e propor melhorias na gestão de estoque a partir da aplicação da curva ABC.

Os dados foram coletados de relatório de medicamentos, relatório de consumo médio de cada item e valor médio de aquisição. Em sequência, foi aplicada a curva ABC.

3.1. DISCUSSÃO E RESULTADO

Inicialmente, foram feitas contagens de um grupo específico de medicamentos, sendo esses os antibióticos, bem como o levantamento do consumo mensal dos mesmos. O consumo foi apurado em períodos diferentes a cada 30 dias. As análises foram feitas mensalmente em maio, junho e julho de 2022.

Com o levantamento do consumo de antibióticos, foi identificado também, o custo médio de cada item e assim calculado volume de capital investido. O resultado foi obtido ao multiplicar a quantidade de produtos em estoque pelo custo médio de cada item.

Após a coleta, foi analisado quais os produtos que tem uma demanda maior e também os que tem um maior custo, como por exemplo, em maio, o item que teve maior

consumo foi o Meropenem com 944 frascos e em segundo lugar ficou o Ceftazidima com consumo de apenas 28 frascos, porém com o custo unitário maior que os outros, tornando-os, assim, itens da curva A.

Na tabela 1, foi feita uma comparação dos dados coletados nos três meses.

Tabela 1 – Relatório de comparação da Curva ABC no período estudado

	MAIO		JUNHO		JULHO	
Material	**Cons Mês**	**Custo Médio**	**Cons Mês**	**Custo Médio**	**Cons Mês**	**Custo Médio**
Ceftazidima + Avibactam 2,5g FA	28	**674,5186**	68	**711,5647**	75	**693,8501**
Meropenem 500mg frs	944	**73,6099**	611	**61,0979**	303	**74,2882**
Amoxicilina 1g + Clavulanato de	31	**21,2229**	89	**21,1729**	52	**20,8256**
CefTRIAXona IV 1g frs	330	**50,3782**	343	**34,7814**	179	**13,7502**
Linezolida 2mg/mL bolsa 300mL	80	**31,887**	45	**31,8871**	99	**28,9901**
Piperacilina e tazobactama 4,5g IV	128	**99,9386**	168	**102,1147**	156	**103,5006**
Polimixina B 500.000 UI	76	**29,1809**	199	**23,9692**	249	**20,2378**
Vancomicina 500mg frs	166	**4,4897**	469	**4,2011**	104	**4,125**
Mitomicina 0,02 % pó sem diluir +	2	**146,18**	0	**0**	1	**146,18**
AZITromicina 500 mg IV	0	**0**	8	**38,71**	4	**17,98**
METRONidazol 0,5% (500mg)	65	**16,7725**	97	**15,5948**	75	**16,8481**
LEVOfloxacino IV 500mg bolsa	8	**16,6887**	6	**16,6883**	3	**16,69**
CefTAZidima 1g frs	0	**0**	37	**21,5243**	27	**16,6081**
CIPROfloxacino 200mg bolsa100mL	51	**16,1045**	48	**15,8148**	47	**15,5817**
Amoxicilina 250mg/5mL susp oral	0	**0**	2,47	**12,6753**	0,1	**12,7127**
Cefuroxima sódica 750mg IV	37	**9,9186**	45	**9,456**	26	**9,115**
CLINDAmicina 150mg/mL 4mL	60	**4,4323**	51	**4,4324**	41	**4,348**
CeFAZolina 1g frs	319	**4,3116**	275	**4,2087**	328	**4,1262**
Amicacina 250mg/mL amp 2mL	2	**2,7**	11	**2,7055**	52	**2,7062**
Ampicilina 1g IV frs	19	**3,2305**	223	**2,7762**	23	**2,5583**
AZITromicina 500 mg cp	8	**2,2837**	13	**2,2854**	4	**2,285**
Amoxicilina 875 mg+ clavulanato de	0	**0**	0	**0**	9	**2,0122**
Gentamicina 80mg amp 2mL	46	**1,4024**	15	**1,436**	36	**1,4353**
Amoxicilina 500mg + Clavulanato de	0	**0**	0	**0**	1	**1,12**
Gentamicina 20mg amp 1mL	0	**0**	0	**0**	37	**1,0962**
Oxacilina 500mg frs	233	**1,1486**	285	**1,1487**	48	**1,0404**
LEVOfloxacino 500mg cp	0	**0**	0	**0**	7	**0,59**
CIPROfloxacino 500mg cp	6	**0,3717**	1	**0,38**	2	**0,37**
Amoxicilina 500mg cáps	0	**0**	3	**0,2333**	0	**0**
AZITromicina 600mg (200mg/5mL)	0	**0**	0,07	**3,5982**	0	**0**
Benzilpenicilina BENZATINA 1.200.	1	**8,85**	1	**8,85**	0	**0**
Benzilpenicilina POTÁSSICA 5.000.	3	**7,64**	7	**7,64**	0	**0**
Cefalexina 250mg/5mL susp 100mL	0	**0**	1	**11,53**	0	**0**
Cefalexina 500mg drg	2	**0,87**	4	**0,87**	0	**0**
Cefepima 1g frs	50	**22,2252**	0	**0**	0	**0**
CefTRIAXona IM 1g frs	9	**15,4367**	9	**15,44**	0	**0**
CLARItromicina 500mg - Fr/amp	2	**36,01**	2	**36,01**	0	**0**
Doxiciclina 100mg drg	0	**0**	5	**2,16**	0	**0**
LEVOfloxacino 750mg cp	26	**7,6396**	0	**0**	0	**0**
Sulfametoxazol 800mg +	0	**0**	2	**1,27**	0	**0**

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Pode-se verificar em vermelho os itens que foram classificados como A, em amarelo os itens B e em verde os caracterizados como C. Pode notar nos três meses, os antibióticos da Curva A se mantiveram, tornando-se, portanto, os itens mais críticos do estoque, no período estudado.

A aplicação da Curva ABC foi realizada ordenando os produtos que tinham maior valor de capital investido para o menor valor. Foi então calculado o percentual de cada produto em relação ao total pago pelo medicamento utilizado em cada período. Esse resultado foi dado pelo capital investido em cada produto dividido pela somatória do capital de cada item e multiplicando por 100.

3.2. APLICAÇÃO DA CURVA ABC

Após o cálculo da porcentagem, foi feito o acúmulo dos valores obtidos e assim realizada a classificação ABC, segundo Carvalho (2002, p. 227), onde é definido que A representa 20% dos produtos com maior volume de capital investido, B mostra 30% e C o de menor importância, que representa 50% do total.

A aplicação da curva ABC neste estudo pode ser observada na Tabela 1, que mostra os resultados obtidos nos meses em que foi realizada a coleta de dados.

Diante dos dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que apenas 2 itens, o Meropenen e a Ceftazidima, correspondem ao maior valor total investido, ou seja, são os itens que trazem maior custo ao hospital e que os classifica como A representando 6,45% dos itens estudados. Para os itens da classe B atinge 12,9% da quantidade e os a classe C, 77,42% do total de itens.

Após a análise, foi possível identificar os itens que tem maior saída no estoque e maior custo de aquisição como o Meropenen e Ceftazidima. Assim como, quais itens precisam ou não serem armazenados e também em quais quantidades. Isso para não superlotar o estoque e consequentemente gerar custos, como por exemplo, a Azitromicina e a Amoxicilina, que não foram consumidas no período estudado.

3.3. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA CURVA ABC

Com a utilização desse método, foi possível identificar quais os produtos que representam o maior valor investido no estoque, que neste caso foram o Meropenem e a Ceftazidima. Pode-se então se atentar as quantidades necessárias para se manter em estoque e evitar prejuízos na alta demanda e falta de medicamento para atendimento ao paciente.

Com essa aplicação, foi identificado, também, os itens que menos têm saída, como o Ciprofloxacino e a Cefalexina. Assim, ter um maior controle dos itens que ficam parados em estoque evita ocupar espaço, perdas por motivo de vencimento de validade e custos para o hospital.

3.4. SUGESTÕES DE MELHORIAS PARA CONTROLE DE ESTOQUE

Ao observar que existe uma variação na utilização de medicamentos, sugere-se que uma análise seja feita por um período de um ano, onde pode ser possível observar o movimento de acordo com cada época do ano. Por exemplo, no período apresentado neste trabalho (maio, junho e julho), foi uma época mais fria onde o número de pessoas com sintomas gripais aumenta bastante e assim são utilizados medicamentos mais específicos para esses casos, o que não acontece na época de calor.

Outra sugestão, é sempre estar avaliando os medicamentos individualmente, para se conseguir acompanhar a sua utilização, como, por exemplo, o medicamento Amoxicilina. Esse medicamento teve um consumo de 31 frascos em maio, já em junho teve um aumento de 287% do consumo e relação ao mês anterior e em sequência, no mês de julho já houve uma queda de 58% em relação ao mês de junho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existe uma grande importância na administração de estoque em qualquer empresa, não somente em hospitais. O seu correto gerenciamento otimiza os resultados e ajuda na redução de custos e melhora o giro.

Este trabalho foi feito com o objetivo analisar o consumo e os valores financeiros de cada item e propor melhorias na gestão de estoque a partir da aplicação da curva ABC, em uma farmácia hospitalar.

Com os levantamentos dos dados, foram identificados os itens que nos meses de maio, junho e julho mais movimentaram financeiramente o hospital, que são o Meropenem e a Ceftazidima, como também os que menos movimentam, que são a Azitromicina e o Sulfametoxazol. Esses dois último impactaram nos custos dos estoques de medicamento.

A falta desses produtos pode acarretar mal atendimento ao paciente, causando danos graves e levando-o até a morte, como também o excesso deles podem representar perdas por falta de espaço físico na farmácia e validade do medicamento. Desta forma, é necessário que o hospital eleve a atenção para uma adequada gestão de estoque.

Assim, devido as variações na utilização dos medicamentos, se faz necessário criar um histórico de utilização para conseguir avaliar e comparar de acordo com cada época. Fato é que cada estações do ano interferem nas comorbidades dos pacientes. Por isso é necessário realizar um estudo maior, pois a demanda de medicamentos é bastante sazonal.

O processo de tomada de decisões, são embasados num controle eficiente, onde o administrador tem uma maior assertividade no gerenciamento de estoques. A Classificação de itens em A, B e C se mostra ser fundamental para que os gestores possam se dedicar aos produtos que merecem um cuidado mais rígido por causa do seu valor de capital investido.

REFERÊNCIAS

[1] CARVALHO, José Mexia Crespo de - Logística. 3ª ed. Lisboa: Edições Silabo, 2002.

[2] CAVALLINI, Míriam Elias; Bisson, Marcelo Polacow. Farmácia hospitalar - 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2010

[3] CORSATO, Rodrigo Ferreira, et al. "Contribuição do método curva ABC para gestão das farmácias hospitalares." Revista Conexão Eletrônica 13.1 (2016).

[4] COSTA, Fábio J. C. Leal. Introdução à administração de materiais em sistemas informatizados. São Paulo: Ieditora, 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/6582816/Introducao-a-Administracao-de-Materiais-Em-Sistemas-Informatizados-Nadia> Acesso em: 26 de abril de 2022.

[5] EGESTOR. Curva ABC: O que é e como fazer. Disponível em: https://blog.egestor.com.br/como-fazer-uma-curva-abc/ Acesso em: 26 de abril de 2022.

[6] GOMES, M. J. V. M.; REIS, A. M. M. Ciências farmacêuticas: uma abordagem em farmácia hospitalar. São Paulo. Ateneu, 2003.

[7] JULIANI, Roberta Guimarães Maiques. Organização e funcionamento de farmácia hospitalar - 1. ed. São Paulo. Érica, 2014.

[8] NORA-Mello, A. R.. RAMAZOTTI, Keila Maria. PEREIRA, Liliane G.F. "A importância da gestão de estoques na farmácia hospitalar." Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXV, Nº. 000071, 31/08/2015. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/artigo/importancia-da-gestao-de-estoques-na-farmacia-hospitalar. Acessado em: 25/09/2022.

[9] MOURA, Cássia E. de. Gestão de Estoques. 1ª. Edição. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

[10] POZO, Hamilton. Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística – 7. ed. São Paulo. Atlas, 2015.

[11] SLACK, Nigel et al. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 2009.

Capítulo 9

Recuperação de polo de bateria danificado: Análise de propriedades elétricas e mecânicas dos polos de bateria

Caio Lucas de Melo Alione
José Dimas de Arruda
Luciano José Vieira Franco
Mayara Rezende Carvalho
Bruno Silva Alencar

Resumo: Com a crise econômica e política do Brasil, o setor de transporte rodoviário acabou sofrendo seus danos, diminuição dos lucros e o custo elevado da operação. Isso levou as empresas dessa área a buscarem a diminuição dos custos operacionais. Diante desse fato e com a alta concorrência no segmento de baterias, a empresa Baterias Aliane procurou solução dos problemas para garantir a satisfação de seus clientes, oferecendo serviço com menores custos e com melhor qualidade. Devido ao contexto, a pesquisa tem como objetivos verificar a viabilidade de se fazer a manutenção dos polos fundidos das baterias para que a mesma tenha sua vida útil prolongada. Foram utilizadas duas baterias, sendo uma nova com os polos novos e uma usada, com um ano e seis meses de uso e com os polos fundidos. Inicialmente, os polos que estavam fundidos foram refeitos e com isso foram feitos estudos comparativos entre as duas baterias. Para realização dos estudos, foi utilizado um aparelho de teste de bateria e sistema de carga, um densímetro para medição da densidade do ácido sulfúrico presente nas baterias. Além disso, utilizou-se uma máquina para ensaios de tração com o objetivo de obter curvas de tensão x deformação de corpos de prova de chumbo, material dos polos das baterias para avaliar suas propriedades mecânicas. Houve pouca variação nos resultados mecânicos entre os polos da bateria nova e reformada, sendo mais importante o fato que esses não romperam na região soldada. Com isso, pôde-se afirmar que o processo de recuperação dos polos danificados é eficiente para que a vida útil das baterias possa ser prolongada de forma efetiva, tornando assim o custo da manutenção menor e com o mesmo desempenho dos seus veículos.

Palavra Chave: Baterias. Polos. Chumbo. Ensaio de Tração.

1. INTRODUÇÃO

Um problema veicular em caminhão é quanto à partida do motor não ocorre, isso pode acontecer devido a vários fatores, mas um que se destaca são problemas relacionados à bateria do veículo, como por exemplo, o mau contato. Tal fato se dá pela fundição dos polos negativo e/ou positivo, que atrapalha no funcionamento do equipamento como um todo. Logo, para não haver a substituição da bateria devido ao defeito do polo, tem-se a opção de refazer o mesmo, com o intuito de reduzir o custo do problema, que é realizado através da fundição do chumbo (Pb). Com isso é necessário realizar uma análise metalográfica, para obter comparativos entre um polo autêntico da fábrica e um polo refeito.

Nesse contexto, este estudo mostra a importância e viabilidade do reaproveitamento de baterias de caminhão quando essas têm seus polos desgastados, mas mantém suas outras propriedades com pequenas variações em relação a um equipamento novo.

Dessa forma, este estudo tem o objetivo de obter as diferenças entre um polo autêntico da fábrica e um polo refeito por uma empresa em Barroso, Minas Gerais; fazendo uma comparação entre o polo original de fábrica com o polo refeito de bateria de caminhão de 100A, para entender e analisar a viabilidade de se reaproveitar uma bateria. Para isto, foi feita uma análise comparativa dos polos da bateria reformada com uma nova, examinando e comparando as propriedades elétricas dessas baterias, realizando ensaio mecânico de tração nos polos para analisar a resistência da região soldada, eliminando o problema do mau contato, reduzindo o custo da manutenção e prolongando a vida útil dessas baterias.

2. BATERIAS AUTOMOTIVAS

Com o avanço tecnológico, caminhões começaram a exigir mais de suas baterias, sendo a utilização de baterias com maior amperagem ou aumentando a quantidade de baterias no veículo ligando-as em série e aumentando a ddp total aplicada (MARTINS, 2018).

O forte crescimento da produção de caminhões, cerca de 28% no ano de 2018 (COSTA, 2019), acarretou na melhoria e diferenciação da produção de seus equipamentos, dentre eles as baterias. Essas são uma das principais peças de um veículo, pois é quem armazena a energia utilizada pelo motor automotivo e fica responsável por alimentar os sistemas elétricos, segundo Andrade (2017).

Coelho (2001) informa que a principal diferença construtiva existentes nas baterias reside no tipo de meio em que as placas estão submersas, uma vez que existem baterias cujo meio pode ser líquido ou gel. Sobre a estrutura das baterias, Moreira et. al. (2004) relatam que o chumbo é o metal utilizado para produção dos polos das baterias. É um elemento mineral de ocorrência natural, que pode ser em diversas circunstâncias reciclado e reaproveitado. Schifer et. al. (2005) afirmam que este é um metal tóxico ao ser humano, e por isso requer cuidados para o seu descarte. Acreditam que a maior parte da contaminação ocupacional pelo chumbo, se da através da existência de pequenas indústrias clandestinas de reciclagem de baterias para veículos automotores.

A reciclagem pode ser definida com a obtenção de um novo produto a partir de um já utilizado (CAETANO ET AL, 2011). Iber (2018) informa que o Brasil produz cerca de 300.000 (trezentos mil) toneladas de baterias sucatas por ano, que são substituídas por novas, de acordo com dados da Associação Brasileira de Baterias Automotivas e Industriais – ABRABAT. A maior porcentagem de chumbo consumida no mundo é designada para a fabricação de baterias, que ao final da sua vida útil deveriam ser destinadas corretamente para a reciclagem. Todos os componentes de uma bateria apresentam percentuais bons para a reciclagem, logo o descarte incorreto da mesma pode provocar uma boa perda de recursos econômicos, ambientais e energéticos (CARNEIRO ET AL, 2017). Bovolenta (2012) esclarece que quando descartados em lugares incorretos, como lixões ou aterro sanitários, liberam componentes que contaminam o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, afetando a flora e a fauna das regiões circunvizinhas.

As manutenções em baterias acontecem para assegurar a permanente disponibilidade desta fonte de energia para os veículos, obtendo o melhor desempenho e a maior vida útil possível. Segundo Karasinski (2003) essas manutenções são divididas em manutenção mensal, anual e quadrienal, e consideram diversos fatores como: medida da tensão de flutuação de todos os elementos; medida da densidade do eletrólito de todos os elementos, utilizando uma seringa densimétrica ou densímetro digital; medida do nível do eletrólito de todos os elementos; medida da temperatura do eletrólito de todos os elementos, tomada por meio de um termômetro a álcool; tensão de flutuação da bateria, obtida no voltímetro instalado no retificador ou nos terminais positivo e negativo dos elementos 01 e 60 da bateria; corrente de flutuação do retificador, obtida por leitura do amperímetro instalado no retificador; tensão do consumidor, obtida por leitura do voltímetro consumidor instalado no retificador; corrente do consumidor, obtida por leitura do amperímetro do consumidor instalado no retificador; anotar todos os valores e observações necessárias no formulário.

3. O ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso avaliou a viabilidade de se recuperar os polos de uma bateria 12V, com análises tanto qualitativas quanto quantitativas.

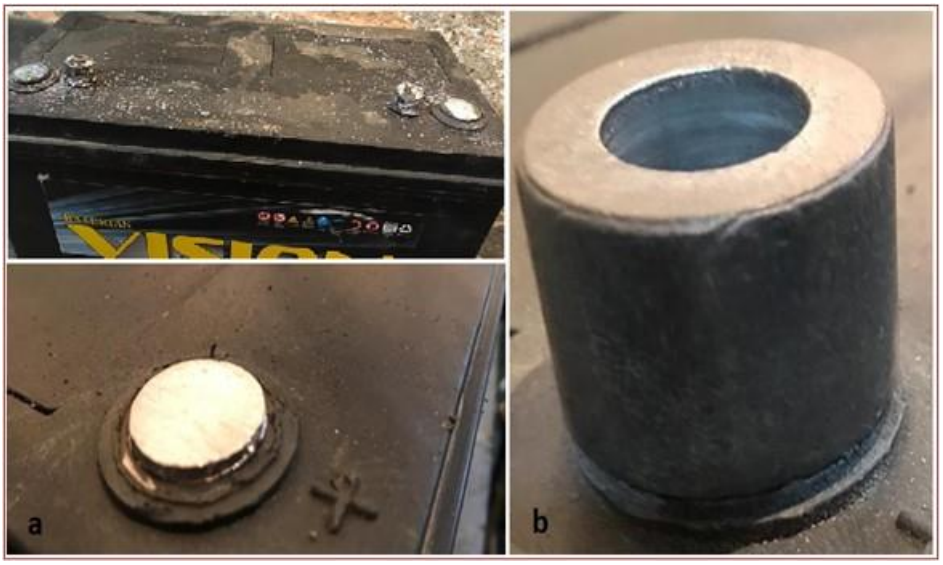
Uma bateria é utilizada de forma ininterrupta, e a mesma pode-se danificar por diversos motivos como: má instalação dos terminais; superaquecimento de cabos, criando maior resistência; conexão incorreta do auxiliar de partida; mau contato do terminal com o polo, devido à formação de zinabre; curto circuito proveniente do fechamento do polo positivo (+) com o aterramento do veículo; tensão ou amperagem muito alta para aquele equipamento; polos muito desgastados devido ao tempo de uso, não permitindo aperto necessário ao terminal. Quando ocorre o processo de fundição dos polos, eles se tornam incapaz de fazer com que a bateria funcione perfeitamente no equipamento, em alguns casos pode ocorrer a perda da utilização da bateria. Para que não ocorra a troca da bateria pode-se refazer os polos, para que a mesma dure mais algum tempo.

Para fazer a recuperação, primeiramente os polos danificados são cortados na sua base da bateria, como mostrado na Figura 1a, e o material (chumbo) fundido e solidificado em forma de varetas. O próprio material danificado é reaproveitado e reutilizado durante o processo. As varetas de chumbo são fundidas sobre a região do polo cortado na própria bateria, Figura 1b, utilizando fôrmas de ferro fundido, para que os polos sejam preenchidos de chumbo novamente. O processo é feito por soldagem à Oxigás (OFW), que inclui qualquer operação que usa combustão de um gás combustível com oxigênio como

meio de calor. Nesse processo, o maçarico utilizado é com o gás butano, ou seja, gás de cozinha, que tem o misturador na lança, chamado de bico de soldagem (BRACARENSE, 2000).

Ressalta-se o controle da temperatura do processo, assim como o resfriamento no final do mesmo, devido a possíveis danificações na estrutura da bateria. Por fim, é utilizado vaselina para proteger os polos recuperados.

Figura 1 a) Polos da bateria cortados para reconstrução; 1b) Fôrmas de ferro fundido para preenchimento de chumbo.



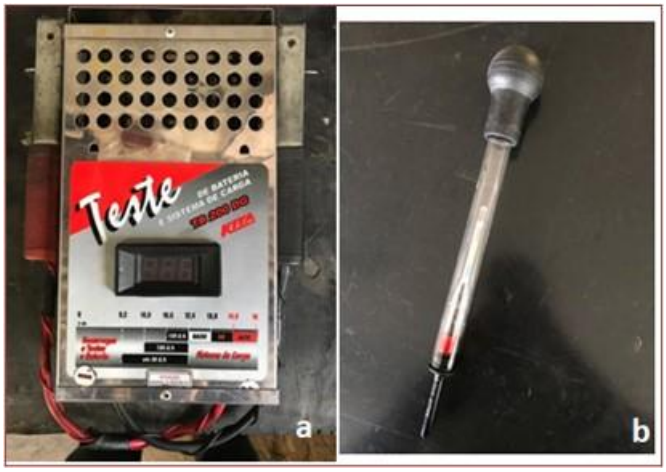
Fonte: Dados da pesquisa. (2021)

Foram utilizadas duas baterias idênticas de 100 amperes (A), uma bateria nova e a outra que possuía um ano e meio de uso. Ambas possuíam uma tensão nominal de 12V; capacidade nominal de 100Ah a 25ºC; reserva de capacidade de 170 mim a 25ºC; CCA de 570Ah a -18 Cº; e peso de 25kg (+/-5Kg). Antes da recuperação dos polos, foi feita a checagem da bateria para ver como estão parâmetros como tensão, nível de carga e a densidade da solução. Para os dois primeiros, foi utilizado o teste de bateria (TB), em que é utilizado um TB 200 DG da marca kita, Figura 2a. Consiste em um aparelho que possuí carga resistiva, que é um sistema que se acopla cargas elétricas resistivas a um gerador ou banco de baterias para fins de teste de funcionamento (JÚNIOR ET AL, 2012).

Para medir a densidade da solução foi utilizado um densímetro, inventado por Alexandria (370 – 415 d.C), utilizando a força do empuxo que é proporcional a densidade ρ, ao volume do corpo V e a aceleração da gravidade g. Devido a essa relação consegue-se saber a densidade de uma solução (BARBOZA, 2009).

No estudo foi utilizado um densímetro da marca Incoterm, em que a densidade é fornecida em (g/cm^3). O densímetro da Figura 2b foi o utilizado na pesquisa.

Figura 2 a) Equipamento TB 200DG para teste de bateria; 2b) Densímetro Incoterm.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A pesquisa foi complementada com a realização de ensaio de tração com corpos de prova confeccionados a partir dos polos das baterias, comparando polos positivos e negativos novos com os reformados a partir do processo descrito acima. É uma máquina Emic DL10000 que contém acessórios para fixação e realização de ensaios de tração em corpos de prova circular ou de seção reta, além de acessórios para compressão. Disponível no laboratório de mecânica do Campus da UNIPAC em Conselheiro Lafaiete, mostrada na Figura 3a. A mesma tem um computador conectado a ela com software de controle para configuração e execução do ensaio. Foram utilizados quatro corpos de prova de chumbo, dois polos positivos e dois negativos de uma bateria nova e outra recuperada. Os corpos de prova foram usinados no laboratório para adequação da norma ASTM E8 que apresenta forma e dimensões que os corpos de prova devem ter para encaixe na máquina de ensaios mecânicos, mantendo as propriedades mecânicas dos polos. A Figura 3b mostra um dos corpos de prova encaixado nas garras da máquina de tração.

Figura 3 a) Máquina para ensaio de tração; 3b) Corpo de prova encaixado nas garras de tração.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

A escolha da bateria de 100 Amperes ocorreu devido à acessibilidade de informação disponíveis na empresa Baterias Aliane, onde se realizou o processo. Para essa pesquisa, foram levados em considerações o tempo de uso, a amperagem e suas especificações de acordo com o fabricante da bateria.

As medições de tensão e capacidade de carga, Quadro 1, mostraram que a não variação da tensão da bateria e a pequena diminuição da capacidade de carga da bateria com um ano e meio de uso em relação a uma nova, indicam a viabilidade desse processo de reformar os polos desgastados.

Quadro 1 - Comparativos de tensão e capacidade de carga entre as duas baterias.

	Bateria Nova	Bateria reformada os polos
Tensão	12.6 Volts	12.7 Volts
Capacidade de carga	165 A/h	150 A/h

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A densidade da solução de uma bateria determina se ela está carregada, e isto é indicado com a carga no valor entre 1.300 g/cm^3 e 1.250 g/cm^3. De acordo com o Manual Tudor Baterias (2019), se o densímetro marcar densidade menor que 1.200 g/cm^3 significa que ela precisa ser carregada, valores muito alto indica que a bateria está com seu eletrólito adulterado, fato esse que ocorre se o nível da solução estiver muito baixo ou se o nível foi completado com ácido ao invés de água.

O Quadro 2 mostra o comparativo da densidade do ácido sulfúrico das duas baterias usadas neste estudo, e que de acordo com os valores obtidos é observado que não houve alta variação de densidade com o tempo de uso.

Quadro 2 - Comparativo da densidade.

	Densidade em g/cm^3	
	Bateria Nova	Bateria Reformada os polos
Célula 1	1.275	1.260
Célula 2	1.275	1.260
Célula 3	1.275	1.275
Célula 4	1.275	1.275
Célula 5	1.275	1.300
Célula 6	1.275	1.250

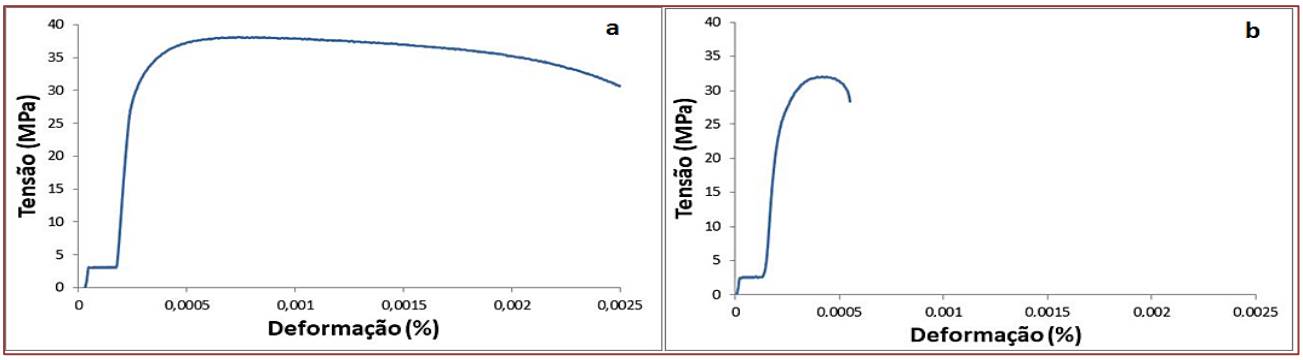
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Foi realizado ensaio mecânico de tração para analisar as propriedades mecânicas do chumbo, material que constitui os polos da bateria, observando em especial a região dos polos soldados. Foram usados 4 corpos de provas para fazer a análise, sendo um polo positivo e um polo negativo da bateria nova e um polo positivo e um negativo dos polos refeitos. O ensaio de tração forneceu o tempo em segundos (s), deformação em milímetro (mm), e força em Newton (N). A partir desses dados, obteve-se o gráfico Tensão ($\sigma = F/A$)

x Deformação ($\Delta l/l_0$), possibilitando analisar e comparar diversas propriedades mecânicas do chumbo utilizado nos polos da bateria nova e reformada. Todos os ensaios foram realizados na velocidade de 1mm/min.

O Grafíco 1a apresenta resultados do ensaio de tração do polo negativo de uma bateria nova, onde o rompimento aconteceu com 36,079Mpa de tensão no tempo de 427,12s, totalizando um aumento no comprimento útil do corpo de prova de aproximadamente 7mm. O Gráfico 1b apresenta os resultados do polo negativo da bateria com um ano e seis meses de uso, suportando uma tensão de 30,02Mpa com o tempo de 127,63s, totalizando um aumento no comprimento útil do corpo de prova de aproximadamente 2,127mm.

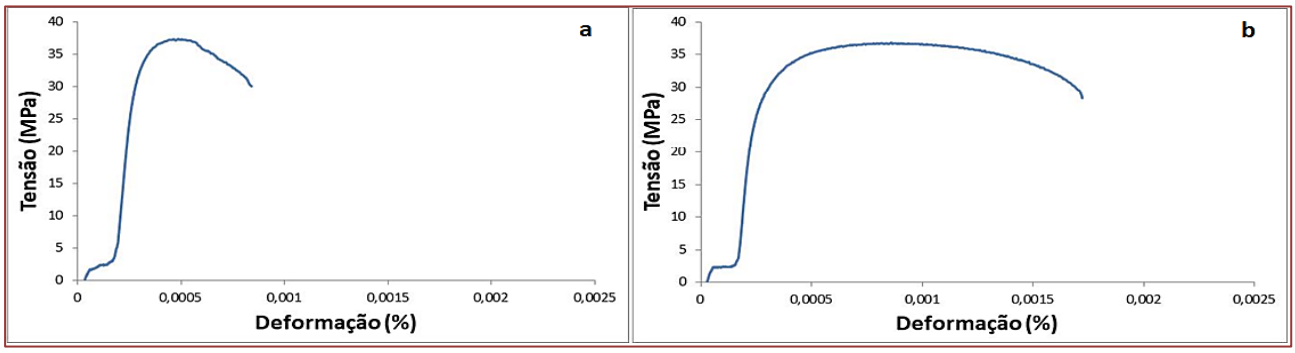
Gráfico 1– Curvas Tensão x deformação: 1a) Polo negativo novo; 1b) Polo negativo refeito.



Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

O Gráfico 2ª apresenta valores para um polo positivo de uma bateria nova que suportou uma tensão de 36,75Mpa no tempo de 194,23s de ensaio, com um aumento no comprimento útil do corpo de prova de aproximadamente 3,237mm. Por fim, O Gráfico 2b apresenta os resultados de tração do polo positivo refeito da bateria com 1 ano e seis meses de uso, que rompeu com 36,079Mpa de tensão, no tempo de 295,17s de ensaio, apresentando um aumento no comprimento útil do corpo de prova de aproximadamente 4,919mm.

Gráfico 2 – Curvas Tensão x deformação: 2a) Polo positivo novo; 2b) Polo positivo refeito.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Os valores de tensões de tração máxima encontrados nos quatro corpos de prova foram semelhantes, e a pouca diferença encontrada no ensaio do corpo de prova do polo negativo refeito, pode ser por ele ter uma menor espessura e ter sofrido reações durante sua aplicação na utilização da bateria, este foi o corpo de prova que apresentou menor deformação total. Vale ressaltar que durante os ensaios mecânicos nenhum dos quatros corpos de prova romperam na solda, ou seja, no caso de um dos polos de bateria for danificado, quanto à resistência mecânica é aplicável refazer os polos. Portanto ao confirmar que a bateria não está danificada em suas propriedades elétricas, é viável a recuperação de seus polos danificados. O preço da bateria utilizada varia de R$ 450,00 a R$ 500,00 sendo que o procedimento de refazer cada polo custa R$ 50,00 sendo os dois R$ 100,00. Levando em consideração que caminhão pode usar duas baterias, se ambas fundisse o polo, o preço ficaria entre R$ 900,00 a R$ 1000,00. Com a manutenção dos polos esse valor passaria a ser de R$ 200,00, economizando R$ 700,00.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostrou que as propriedades elétricas (tensão e capacidade de carga) e químicas (densidade da solução) da bateria, além das mecânicas dos polos das baterias não variaram de forma expressiva, portanto o processo de refazer os polos é válido.

Pôde-se verificar que nos ensaios mecânicos de tração os corpos de prova não se romperam na solda feita para se recuperar os polos, mostrando que há baixa variação nas propriedades mecânicas desse material.

Procurar um profissional de confiança e analisar alternativas pode ser muito útil, nesse caso é um processo que gera uma economia em torno de R$700,00 por veículo.

REFERÊNCIAS

[1] ANDRADE, Clésio. Baterias Automotivas boas práticas no uso e na destinação. Programa ambiental do transporte (CNT, SEST E SENAT). Brasília 2018.

[2] BOVOLENTA, Marcelo Antonio. Purificação do chumbo proveniente da reciclagem de bateria. Fundação educacional do Município de Assis- FEMA. Assis 2012.

[3] BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Processo de soldagem com chama oxi-gás – OFW. Universidade federal de Minas Gerais. Belo Horizonte 2000.

[4] CAETANO, N. A; CUSTÓDIO, F. H. M; GIMENES, R. D; FRANCO, G. N; LOPES, G. Reciclagem de baterias chumbo-ácido- sua importância em nosso cotidiano. Centro universitário Salesiano auxilium. Lins 2011.

[5] CARNEIRO, R. L.; MOLINA, J. H. A.; ANTONIASSI, B.; MAGDALENA, A. G.; PINTO, E. M. Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico- Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento. Revista Virtual química. Brasil 2017.

[6] COELHO, Kefas Damazio. Estudo de uma fonte ininterrupta de corrente contínua de baixa potência gerenciada por um microcontrolador. Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis 2001.

[7] COSTA, Décio. Produção de caminhões cresce 27% em 2018. Disponível em https://www.autoindustria.com.br/2019/01/08/producao-de-caminhoes-cresce-27-em- 2018. Acesso em 25/04/2019 as 21:15.

[8] IBER – Instituto Brasileiro de Energia Reciclável. Disponível em: https://iberbrasil.org.br/. Acesso em: 16/11/2018.

[9] KARASINSKI, Carlos Alberto; DIAS, Edson da Silva. Guia para aplicação e manutenção de banco de baterias. Centro federal de Educação e Tecnológica do Paraná. Curitiba 2003.

[10] MANUAL TUDOR BATERIAS. Componentes baterias. Disponível em: http://tudor.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve/componentes, acesso em 2019-05-16 as 21:17.

[11] MARTINS, Fernanda. Baterias de caminhões: 6 fatores que interferem na durabilidade. Disponível em: https://blogwlmscania.itaipumg.com.br/bateria-de- caminhoes-6-fatores-que-interferem-na-durabilidade/. Acesso em: 05/05/2019 ás 20:10.

[12] MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. os Efeitos do Chumbo sobre o Organismo Humano e seu Significado para a saúde. Ver Panam salud Publica. 2004. 13(2):119-29.

[13] SCHIFER, Tiago Santos; JUNIOR, Stanislau Bogusz; MONTANO, Marco Aurélio Echart. Aspectos Toxicológicos do chumbo. Universidade regional do noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Ijuí 2005.

Capítulo 10

Segurança veicular através dos crash tests em utilitários de passeio: Estudo comparativo do avanço tecnológico no Brasil em relação ao mercado internacional

Anderson Lopes Ramalho Silva
José Dimas de Arruda
Mayara Rezende Carvalho
Luciano José Vieira Franco
Jussara Fernandes Leite

Resumo: O principal objetivo deste trabalho foi demonstrar através de comparações e dados, o aprimoramento da segurança veicular para carros de passeio brasileiros em relação aos internacionais, através da análise de Crash Tests. No Brasil de modo recente foram impostas as tecnologias de freios ABS e sistemas de airbag em todos os modelos de veículos novos fabricados, por meio de regramentos emitidos por resoluções e leis; em países como os Estados Unidos o sistema de airbag frontal duplo já era obrigatório há mais de vinte anos, e na Europa, apesar de não haver dispositivo legal que obrigasse à existência de freios ABS nos veículos, a maioria da frota já apresenta esse dispositivo, devido à conscientização dos consumidores quanto à sua importância. As organizações empenhadas a avaliar a segurança dos veículos em testes de colisão Crash Test referem baixíssimo desempenho de alguns modelos comercializados no Brasil, sendo quase fatais, gerando graves ferimentos ou morte, quando o acontecimento de um acidente. Vale ressaltar, conforme dados da análise do modelo Ford Ka, que não se trata apenas de um problema de falta de airbags, mas que o Ka+ traz este item de série na Europa, desde sua versão básica, e o Ka brasileiro não oferece o mesmo nem como item opcional. Além disso, enquanto o modelo brasileiro não consegue nenhuma estrela nos testes de impacto, o vendido na Europa conseguiu três estrelas em testes muito mais severos. Contudo, falar em prevenção de acidentalidade demanda influência e trabalho com todos os fatores associados a esse fenômeno, sejam aspectos de ordem social, econômica, cultural, política ou administrativa. Especialmente em relação à segurança veicular, é basilar a implantação de avaliações no intuito de desenvolver a frota nacional com a inclusão de itens de segurança modernos, de modo que os veículos brasileiros se assemelhem aos parâmetros de segurança internacionais e possam trabalhar como um fator de garantia de proteção aos usuários do trânsito na ocorrência de acidentes e incidentes.

Palavra Chave: Crash Test. Segurança Veicular. Teste de impacto. Ford Ka.

1. INTRODUÇÃO

Para se avaliar o nível de segurança de um automóvel durante uma colisão, existem diversas empresas e órgãos não governamentais que utilizam o conhecido "Teste de Impacto", ou "*Crash-Test*". Este é um teste destrutivo que envolve acelerar um veículo em uma velocidade determinada até colidir com uma barreira, podendo ser deformável ou rígida, causando a perda total do veículo e exigindo equipamentos de análise de simulação muito complexa e de alto custo. Atualmente, somente as montadoras Volkswagen, General Motors e FCA possuem laboratórios próprios e independentes de Crash Test no Brasil. Fatores como emprego de aços especiais, métodos de união de chapas em uma carroceria, podendo envolver desde solda, até cola industrial e zonas de deformação programadas, são alguns dos pontos que levaram ao aumento da segurança veicular, e consequentemente a queda no número de mortes no trânsito, tanto em âmbito nacional quanto internacional. (AUTO ESPORTE, 2020).

Este trabalho tem como finalidade confrontar o avanço da tecnologia em segurança veicular no Brasil quando comparado aos demais mercados mundiais, considerando como este avanço é motivado em termos de governo, sociedade, garantia de segurança e outros. Foi pensado, portanto, em apresentar todos estes fatores e itens que colaboraram para esse aumento considerável na segurança veicular, mostrando todo o trabalho e engenharia empregada por trás destes resultados em ambos os horizontes de estudo. A intenção deste estudo foi permitir que, a partir de uma avaliação comparativa, seja possível perceber o motivo, como e o momento que as novas tecnologias são inseridas no mercado, demonstrando através de comparações e dados, o aprimoramento da segurança veicular para carros de passeio brasileiros em relação aos internacionais, através da análise de *Crash Tests*.

2. SEGURANÇA EM VEÍCULOS AUTOMOTORES

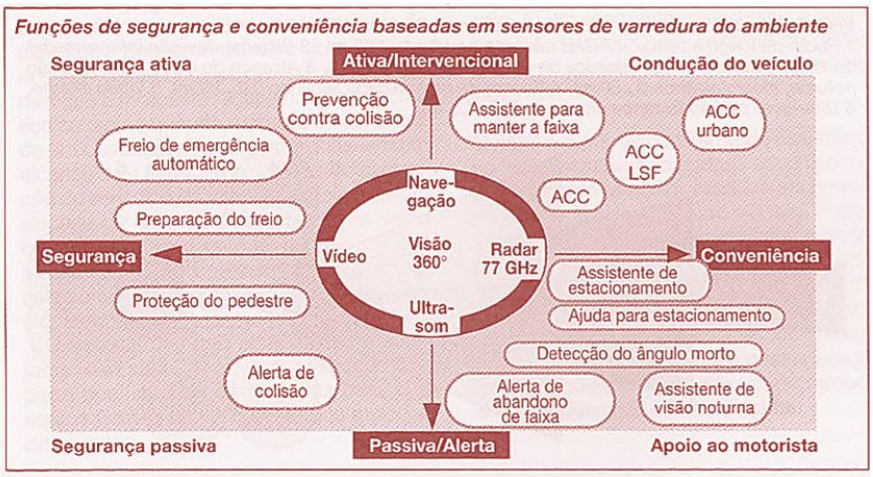
É comum, no mercado atual, as empresas estarem em busca de alternativas que aumentem a garantia de segurança para seus clientes, ainda mais se tratando do mercado de automóveis, que representa grande índice de ocorrências relacionadas a acidentes envolvendo veículos automotores. De acordo com informações do Ministério da Saúde, no Brasil, acidentes automobilísticos causam a morte de milhares de pessoas todos os anos. De 2009 a 2016, o total de óbitos em acidentes de trânsito no país passou de 19 para 23,4 por 100 mil habitantes. Segundo uma pesquisa de 2012 do Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) para a revista VEJA, o número de mortos por acidentes de trânsito no Brasil atingiu 60 mil superando o número de mortos por câncer e homicídios. A ONSV ainda aponta que praticamente 90% dos acidentes são causados por fator humano. Os dados mostrados pela quantidade de acidentes no Brasil e no mundo são surpreendentes. As consequências dessa violência ultrapassam a esfera do trânsito, intervindo em todos os campos da vida social, com prejuízos na qualidade de vida da população. Diante deste contexto, é importante analisar quais as medidas adotadas no Brasil em comparação ao exterior, de modo a aprimorar a segurança nos veículos automotores de passeio a partir de análise de *Crash Tests.*

Para entender a questão de segurança veicular é importante destacar que, com o aumento da velocidade dos veículos automotivos, ao longo das últimas décadas, surgiram novas legislações voltadas para a questão de segurança automotiva. O aumento na quantidade de carros circulando, de acordo com Pereira et. al (2013, p.16) "fez com que as pessoas mudassem o modo de pensar e o tema segurança veicular começou a ter

prioridade nos anos 1960, com a criação de novas leis nos EUA, que abordavam a importância de desenvolver carros mais seguros". O autor ainda defende que os para-choques tiveram que passar a ter capacidade para absorver uma determinada quantidade de energia, os para-brisas deviam estar a uma distância da cabeça do condutor, e novas formas no *design* do automóvel passaram a ser necessárias para cumprir determinadas exigências. Para facilitar a atuação, os sistemas de segurança são divididos em duas classes: segurança ativa e segurança passiva. A finalidade de ambos os sistemas é garantir a integridade física dos passageiros, porém em momentos diferentes. Na Figura 1 tem-se a relação entre a segurança ativa, segurança passiva e a comparação delas com a condução do veículo e o apoio ao motorista, em um sistema de segurança e conveniência baseados em sensores de varredura do ambiente. Conforme se percebe em cada um dos quadrantes, encontram-se sistemas que tendem para a segurança ou para a conveniência, além de se apresentar como sistemas ativos ou passivos. (LIMA, M. 2011).

A Figura 1 mostra a relação entre segurança passiva e ativa na condução do veículo e no apoio ao motorista.

Figura 1 Relação entre segurança passiva e ativa na condução do veículo e no apoio ao motorista.



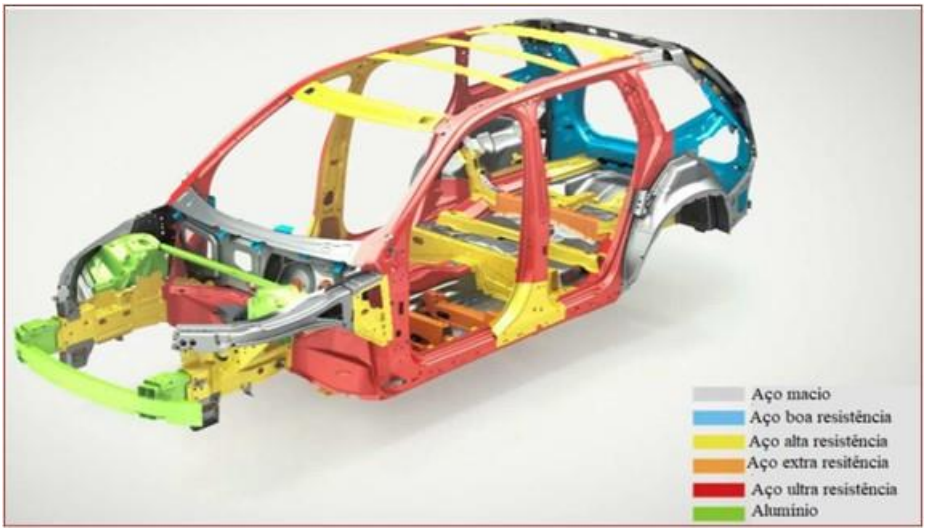
Fonte: Bosch (2005)

Pereira et. al (2013) apresentam que a segurança passiva são todas as medidas propostas a tornar mínima as consequências de um acidente, tanto aos passageiros dos veículos como aos pedestres. E para a segurança ativa têm-se todas as medidas destinadas a impedir os acidentes. Na segurança ativa, a condição das ruas e rodovias tem um papel muito importante, assim como a sinalização. Ikeda (2012) afirma que a segurança ativa está relacionada a auxiliar a prevenção de um acidente, ou seja, agir na diminuição do acidente na sua iminência. O objetivo é impedir que venha acontecer o acidente, para isto existem alguns dispositivos já conhecidos, como por exemplo: o ESP (*Eletronic Stability Program*) ou ESC (*Electronic Stability Control*), sendo estes um controle de estabilidade que prevê o descontrole do carro em curvas e corrige sua trajetória.

A segurança passiva está relacionada com equipamentos que atuam no instante da colisão ou parada repentina, com intuito de evitar ou minimizar os traumas gerados nos ocupantes do automóvel. Nesses estão envolvidos os dispositivos: cintos de segurança

(para prevenir a projeção dos corpos para fora do veículo), *airbag* (amenizar o impacto contra os corpos rígidos dentro do veículo), e reforço nos elementos estruturais de acordo com mostrado na Figura 2. É a forma como se apresenta o chassi da grande maioria dos veículos populares. O chassi é o monobloco no qual se integra à carroceria. Ressalva-se que no habitáculo do veículo, o local onde se situa os passageiros, apresenta elementos estruturais com rigidez maior, visando a não deformação do habitáculo e a entrada de energia cinética advinda do impacto (IKEDA, 2012).

Figura 2 - Crashworthiness - Proteção à colisão.



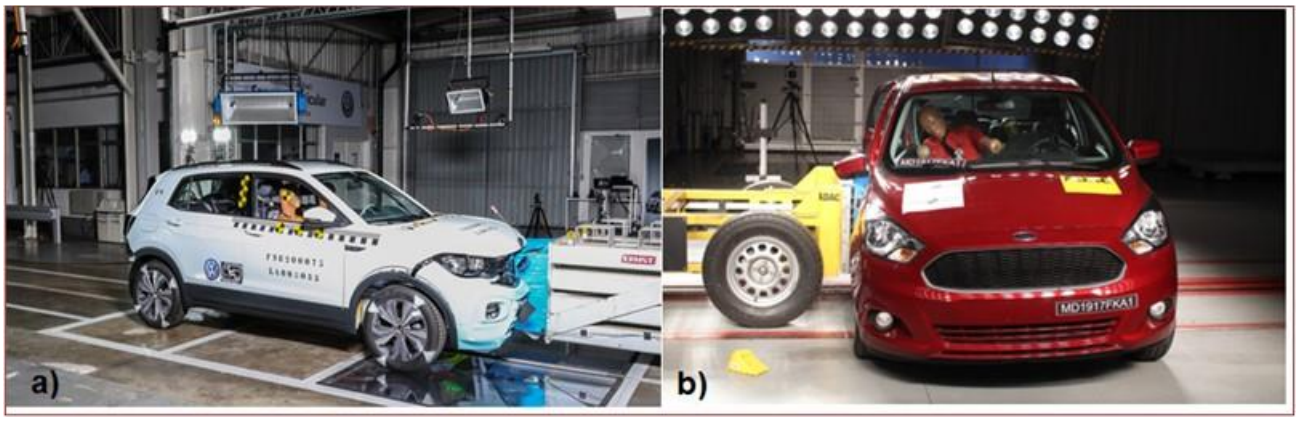
Fonte: Ikeda (2012).

2.1. TESTES DE IMPACTO CRASH TESTS

A intenção do *Crash Tests*, ou testes de impacto, é garantir a integridade das vidas dos usuários, impedir ferimentos e diminuir os custos econômicos devido a acidentes rodoviários, por meio de educação, pesquisa, padrões de segurança e atividades de fiscalização (LATIN NCAP, 2017). Conforme as análises e propostas da LATIN NCAP, o governo brasileiro implementa mudanças no qual as montadoras se adequam para obterem a homologação do veículo, e assim poderem comercializar o produto no país. Em seu conceito técnico, o *Crash Test* é um tipo de ensaio destrutivo, com finalidade de testar a segurança dos veículos, além de caracterizar os materiais quanto a propriedades como: elasticidade, ductilidade, resiliência, dureza, tenacidade. Através do *Crash Tests* é possível realizar melhorias extremamente importantes na estrutura vital de um veículo, fazendo com que milhares de pessoas possam sobreviver a possíveis acidentes. A Figura 3a apresenta de forma esquemática uma simulação frontal de *Crash Test VW T-Cross*. O conceito de *crashworthines* está relacionado à capacidade de absorver energia ao colidir, de modo que se mantenha o controle da deformação e preserve a integridade dos usuários do veículo (SÁNCHEZ, 2001). Segundo Silva (2018), na indústria automotiva utiliza-se o termo "*Crashworthiness* quando se refere a dispositivos estruturais de proteção a impacto. A verificação da característica *crashworthiness* nas estruturas da indústria automotiva se faz por meio de ensaios destrutivos - *Crash Test*". O autor ainda expõe que o conceito deste termo consiste no ensaio em que se submete o veículo físico à circunstância equivalente de impacto, contendo as principais variáveis que proporcionam um caso real de acidente. Deste modo, isto junta tanto às atitudes do reflexo padrão dos

motoristas ao reagir à situação de acidente veicular no que implica a velocidade do teste, como a maneira e posição dos veículos e objetos no ensaio. Contudo, o *Crash Test* confere o comportamento das estruturas veiculares, como também do corpo humano no acidente. A Figura 3b mostra um ensaio de impacto lateral na situação de dois veículos, em que o veículo impactante é substituído por uma placa deformável.

Figura 3 a) Crash Test VW T-Cross frontal; 3b) Crash test lateral.



Fonte: Grande (2019) e Latinncap (2016)

Segundo Dalmo (2019), "a necessidade de tornar o interior de um automóvel seguro o bastante para seus ocupantes era evidente desde a invenção do automóvel em si". Na visão de Mendonça (2019), "carros não foram feitos para bater, mas infelizmente eles se chocam. Pode ser por circunstâncias acidentais, por imprudência ou até imperícia do motorista". Deste modo, não se preocupavam muito com as consequências dos acidentes. Mas o número de vítimas com óbito aumentou de maneira exponencial e isso levou a indústria a se atentar cuidadosamente com esses dados alarmantes. Carros foram ficando mais potentes, mais velozes, as estradas melhorando as condições do piso e essas, entre outras causas, tornaram o carro perigoso.

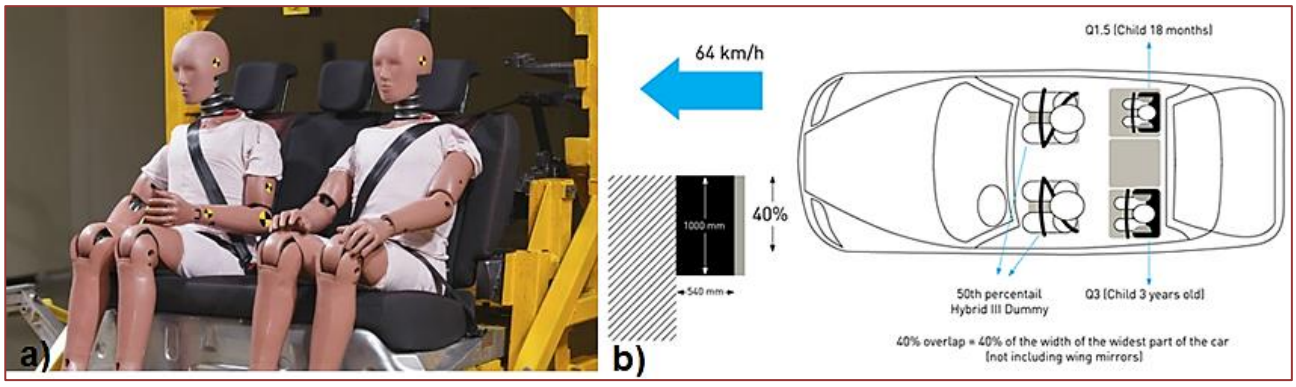
De acordo com Dalmo (2019), a fabricante de automóveis pioneira a realizar o *crash tests* foi a General Motors (GM), em 1934. Estes testes não tinham a finalidade de testar a segurança dos veículos, ainda não se tinha essa cultura de segurança, os testes eram realizados para comprovação da resistência do veículo, no qual não se tinha noções de que eram necessárias zonas de deformação para gerar menor impacto nos ocupantes. A tendência logo foi seguida por outras fabricantes, que trataram de aperfeiçoar os testes, simulando capotamentos e diferentes tipos de colisões.

Dalmo (2019) afirma que uma invenção veio para revolucionar o início do *Crash Tests*. Em 1949, com base nos dados coletados dos testes em cadáveres (que ainda continuavam sendo realizados regularmente na Universidade de Wayne, pois determinados tipos de ferimentos só podem ser observados no próprio corpo humano), foi desenvolvido o primeiro boneco especialmente para testes de colisão. Sierra Sam chamou logo a atenção das fabricantes de carros como a Chevrolet e Ford que encomendaram versões automotivas desse. Este, chamado de "VIP-50", tornou-se o primeiro *crash test dummy* (Boneco próprio para *Crash-tests*) padronizado nos Estados Unidos. Com o decorrer do tempo, o *crash tests* passou a ser realizado com uma frequência ainda maior, e, além disso, foi estabelecido o código padronizado de segurança automotiva, sancionado pela Organização das Nações Unidas. Foi o primeiro movimento

para o surgimento de agências regulatórias nacionais. Coincidentemente, também foi em 1958 que o engenheiro *Nils Bohlin*, que trabalhava na Volvo, patenteou os tão conhecidos cintos de segurança de três pontos.

As simulações de *crash test* evoluíram com o decorrer do tempo. Com base nos bonecos da Sierra, a General Motors criou, em 1971, o Hybrid I, que logo deu origem a toda uma família de bonecos – um homem, uma mulher, e crianças de dez, seis e três anos de idade. Os modelos Hybrid II e Hybrid III foram difundidos em 1972 e 1976, respectivamente, e o Hybrid III em meados da década de 1990. Ele ainda é empregado, e a construção básica continua a mesma, com um esqueleto de alumínio revestido com plástico e vinil. A diferença é que, agora, os bonecos trazem diversos equipamentos eletrônicos para coletar informações no momento do impacto (DALMO, 2019). Magalhaes (2014) apresenta tais bonecos com o conceito de "Dummy", Figura 4a. O boneco é responsável por simular um ser-humano em diversos testes que avaliam o quão seguro é um veículo para seus ocupantes. Atualmente, o manequim é objeto de alto investimento da indústria, e os mais modernos podem chegar a custar o equivalente a pouco mais de R$ 1 milhão. O teste é realizado por órgãos não governamentais, o mais conhecido deles é o NCAP (*New Car Assessment Programme*), tendo diversas variantes para cada continente. No Brasil, o órgão que realiza os testes nos carros é o Latin NCAP, o mesmo que realiza testes em todos os carros vendidos na América Latina. (LATINNCAP, 2017). Segundo Dalmo (2019), um dos testes realizados frontalmente, Figura 4b, é feito com um determinado veículo, posicionado de tal forma, que 40% de sua área frontal atinjam uma barreira estática.

Figura – 4 a) Boneco Dummy atual; 4b) Crash Test 40% frontal.

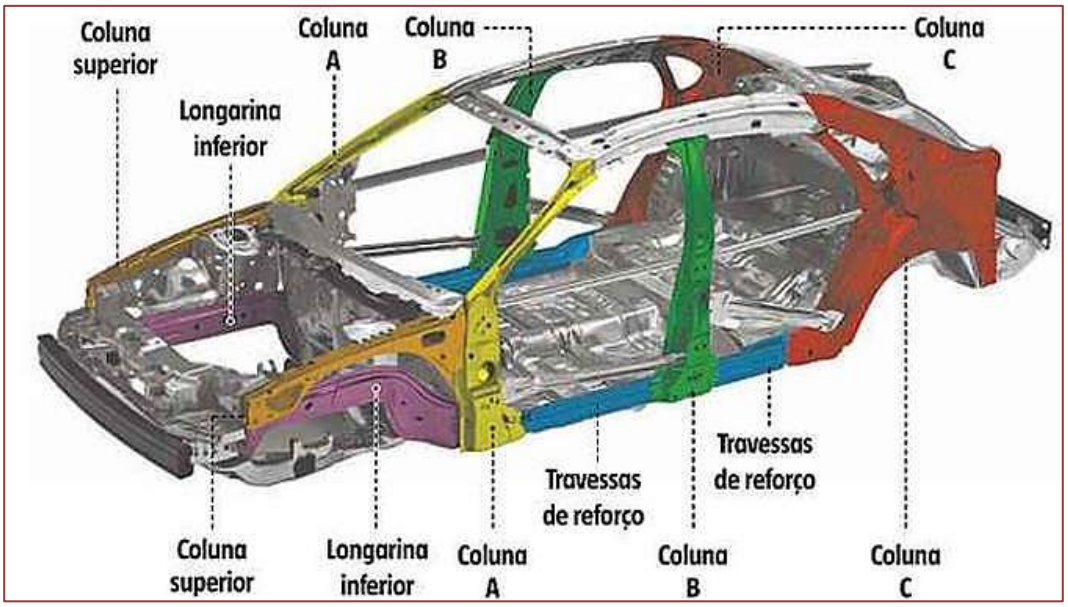


Fonte: Magalhaes (2014) e Latin NCAP (2017)

De acordo Vrum (2014), engenheiros da empresa Confiar defendem que o atual conceito da estrutura do veículo é absorver ao máximo o impacto de um impacto por meio de sua deformação programada. Esta característica estrutural é um dos avanços mais significativos em segurança automotiva, sendo considerado a que mais salvou vidas. Esta evolução não é compatível com as técnicas arcaicas de reparo do monobloco. "Alguns testes de colisão foram feitos mundo afora para mostrar o quanto o uso dessas técnicas poderia afetar os ocupantes do veículo."

A estrutura de um veículo é composta por diversos elementos destacados na Figura 5.

Figura 5 - Elementos estruturais de um carro.



Fonte: Vrum (2014).

A coluna superior de um veículo é a parte que forma o *Cash Box*, onde é instalado o conjunto mecânico. Esta coluna é um importante elemento estrutural para absorção de impactos, podendo ser composta de aços de ultra-alta resistência, de até 1.300 MPa. Esta parte da estrutura funciona em conjunto com a coluna A do veículo, se deformando em caso de impactos, a fim de amortecê-lo (VRUM, 2014). A Longarina inferior, por sua vez, tem o principal papel na absorção de um impacto, pois é a parte que mais recebe a força do impacto, absorvendo uma compactação para a maior absorção gradual possível. Normalmente, existem ranhuras nas longarinas, ou seja, pontos de pré tensão para que quando ocorra o impacto esta barreira se deforme de modo programado, para que a mesma fique compactada, e assim absorva a maior energia possível. Considerada a composição básica para a célula de sobrevivência de um veículo, o conjunto de colunas A, B e C são compostas de forma que: Coluna A é a que se fixa a porta do motorista e o vidro para-brisa; Coluna B, sendo esta a coluna da parte central lateral, em que é fixado as portas traseiras do veículo; e a Coluna C, que normalmente é fixado o vidro traseiro do veículo. Essas três colunas, diferente da parte frontal do veículo, não devem se deformar em um impacto, para que não haja invasão da parte de motor e estrutural do veículo dentro da cabine de ocupantes (VRUM, 2014).

Por conta disto é cada vez mais comum as empresas automobilísticas utilizarem os aços mais resistentes no mercado para ser a composição das colunas. Alguns veículos utilizam até 5 tipos de aços diferentes na composição das partes estruturais, podendo estender à travessa do assoalho, que é responsável por suportar impactos laterais. Porém, em países como o Brasil, ainda circulam diversos veículos que devido a cortes de custos, são considerados inseguros. Em 2011, a LATIN NCAP realizou testes em um dos veículos mais vendidos no mercado até então, o Chevrolet Celta, que apresentou um resultado extremamente preocupante, com pontuação limitada a uma estrela pelo alto risco de morte. A carroceria não absorveu o impacto da colisão trazendo risco elevado de lesão

frontal à cabeça do motorista. A proteção do peito do motorista foi baixa, existindo estruturas perigosas na parte baixa do painel que poderiam comprometer os joelhos dos passageiros. Houve um alto risco de lesão grave para a parte inferior da perna e do pé do motorista devido à ruptura do assoalho (LATIN NCAP, 2017).

De acordo com Cunha (2011), os critérios de verificação divergem em cada país. As diferenças entre os critérios de avaliação dependem de suas relativas normas que são utilizados para os testes de impacto frontal feitos em alguns dos principais mercados, influenciando na qualidade do produto final, que é a segurança veicular. Cunha (2011) afirma ainda que o teste de impacto veicular frontal, com barreira deformável e sobreposição de 40% é utilizado como teste oficial de homologação em diversos países, principalmente os desenvolvidos, mas não é feito no Brasil, por ser optativo. Além disso, o mesmo não é feito nos Estados Unidos, onde o teste oficial é o de impacto frontal em barreira rígida, com sobreposição de 100%, ou seja, com maior rigorosidade. De forma geral, todos os países que empregam o teste de impacto veicular frontal em barreira deformável, com sobreposição de 40%, têm suas entidades de teste independente. Isto tende mostrar que este teste de impacto, com sobreposição de 40%, é um dos testes mais crítico para a proteção do usuário.

Vários países atualmente têm leis com os critérios mínimos de atendimento à segurança dos usuários do veículo. A averiguação de conformidade destas leis é fundamentada em testes de impacto veicular. No Brasil, a lei que regulamenta o critério mínimo de segurança dos ocupantes dos veículos, para colisão frontal, é a Resolução 221 do CONTRAN. Nos Estados Unidos, a lei que regue o critério mínimo de segurança veicular, para colisão frontal, é a 49 CRF 571.208 (FMVSS 208, 2010). Na Europa, a lei que determina este critério, é a Diretiva 96/79/EC do Parlamento Europeu, que segue as mesmas diretrizes do Regulamento 94 (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008) da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe*). No Japão, o padrão usado para certificação é o artigo 18, da Regulação da Segurança para Veículos de Rodagem, (JASIC, 2009). Na Austrália, os regulamentos que concebem o critério mínimo de segurança veicular para colisão frontal são as ADR 69/00 e a ADR 73/00 (ADR 69/00, 2007 & ADR 73/00, 2005).

3. O ESTUDO DE CASO

Com a evolução do mercado, o surgimento de novas tecnologias e o aumento da preocupação quanto à segurança veicular, torna natural que a área de engenharia deva pesquisar e usufruir de novas tendências e tecnologias em prol de veículos cada vez mais seguros e robustos, conseguindo atender aos órgãos mais rígidos avaliadores de segurança veicular em todo mundo. Diante desta realidade, este estudo analisa os esforços legais realizados no Brasil em relação à segurança veicular e verifica se os mesmos têm sido suficientes para reduzir as consequências aos usuários devido ao alto nível de acidentes no país, além de confrontar informações em âmbito internacional. O motivo da execução deste trabalho se dá devido ao mercado tender a ter veículos cada vez mais seguros, tendo em vista o alto número de veículos que circulam por todo o país. O aumento da eficiência destes veículos faz de um modelo popular da atualidade ser tão veloz quanto um veículo esportivo dos anos de 1980. Junto a esse aumento da eficiência, surge à necessidade da melhora dos níveis de segurança empregados nos carros até então. Este trabalho teve o objetivo de demonstrar através de comparações e dados, o aprimoramento da segurança veicular para carros de passeio brasileiros em relação aos

internacionais, através da análise de *Crash Tests*; descrevendo o surgimento e as melhorias dos testes de impacto realizados em veículos, analisando os dados que aumentaram o nível de segurança nos carros através dos *Crash Tests*.

O processo de coleta de dados se deu a partir de pesquisa bibliográfica, principalmente de artigos de jornais e revistas especializadas e ligadas ao setor de tecnologia, artigos acadêmicos e normas dos diversos órgãos de regulamentação e avaliação de segurança veicular nos principais mercados mundiais, para que fosse possível uma comparação. Para a análise técnica e de performance, bem como a avaliação dos resultados relacionados a Segurança Veicular para os *Crash Tests*, foram levantados os dados de testes de dois carros de mesmo modelo, tanto no Brasil quanto em mercado europeu. Sendo assim, o carro escolhido foi o modelo Ford Ka, da fabricante Ford, produzido no ano de 2017 e levantado os resultados de performance de Crash Test, para a Euro NCAP, órgão responsável pela realização dos testes em mercado europeu, bem como as informações da Latin NCAP, que responde pelos mesmos resultados em mercado brasileiro. Para a parte de comparação, o método consistiu em abordar o histórico da segurança veicular em cada região, histórico de movimentos correlacionados à segurança veicular e surgimento de NCAPs, abordar o comportamento do consumidor e do governo em relação à segurança veicular e finalmente traçar tendências. Dentro dos referenciais mencionados e comparando as políticas e realidades dos mercados, é que foi elaborado o estudo comparativo.

Ficou evidente nos artigos e sites pesquisados que os veículos de passageiros em países desenvolvidos como EUA, União Europeia e Austrália apresentam um nível de segurança relativamente alto, entretanto esse não é o caso nos mercados emergentes. Estima-se que um terço dos novos veículos comercializados, em todo o mundo fica abaixo da proteção fundamental contra colisão fornecida pelos modelos vendidos nas regiões desenvolvidas. Sem normas governamentais de segurança, as montadoras, incluindo os grandes produtores americanos, europeus e outros, podem comercializar automóveis em mercados emergentes que não possuem garantias, no quesito segurança, quanto os vendidos em países industrializados. Além disso, os consumidores podem não compreender que seus veículos não os protegerão em acidentes, assim como os mesmos modelos vendidos em outras partes do mundo, pois seus países não têm programas/ regulamentos de teste de colisão para conhecimentos e subsidio ao consumidor. (YOUNG, 2013).

A imposição de normas legais prevendo a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de freios ABS, *airbag*, cinto de segurança de três pontos e encostos de cabeça em todos os assentos, demonstra uma inquietação dos órgãos do Sistema Nacional de Trânsito com o desenvolvimento da frota brasileira em relação à segurança veicular. Essa inquietação se tornou regramentos, apenas dez anos após a publicação do CTB, em uma ocasião em que o Brasil já aparecia como um país com alto índice de acidentes, somando aproximadamente 35 mil mortes no trânsito no ano de 1997. Em meio à publicação do penúltimo Código de Trânsito em 1968 e a publicação do atual Código de Trânsito em 1997 houve raras evoluções nesse campo. (WAISELFISZ, 2011). Pegando o sistema de segurança de *airbag* como exemplo, enquanto os Estados Unidos previam a sua obrigatoriedade desde 1989, esta regra no Brasil é muito recente. Em relação de instalação de freios ABS, Gioria (2008) descreve que houve várias tentativas antecedentes de implantação desta exigência nos veículos brasileiros, dado o avanço inquestionável na luta à acidentalidade que tal medida acarretava. Houve proposta por meio dos Projetos de Lei nº 3.375/1992, arquivado em 1995, e dos Projetos de Lei nº 1326/1995 e nº

6987/2006, este reapresentado como novo em 2007, através do Projeto de Lei nº 1806/2007. Ainda assim, a obrigatoriedade de disponibilização deste sistema nos veículos brasileiros data tão somente em 2014, décadas depois a concepção deste importante equipamento. Um estudo feito em 2014 pela CESVI demonstrou que muitas motocicletas comercializadas no Brasil sequer tinham o freio ABS como artigo opcional. A grande maioria utilizada nas vias do país tinha motorização abaixo de 250 cilindradas, estando o sistema ABS disponível exclusivamente em motos com maior potência. Devido ao elevado índice de acidentes com motocicletas, e a eficiência que o sistema de freios ABS traz na prevenção, esta exigência já deveria estar instituída. (CENTRO DE EXPERIMENTAÇÃO VIARIA, 2015).

A apuração dos testes de colisão feitos em 2013 pela Latin NCAP, participante do programa global de avaliação de veículos novos, com alguns exemplares de veículos comercializados no Brasil, deu origem a uma publicação alarmante sobre os índices de segurança averiguados. Titulada como "Carros feitos no Brasil são mortais", a agência de notícias *Associated Press* apresentou uma vasta reportagem onde se averiguou que quatro dos cinco carros mais comercializados no Brasil não conseguiram passar em testes de colisão, sendo considerados altamente inseguros. Da mesma maneira, enquanto alguns exemplares brasileiros obtiveram somente uma estrela, o mesmo modelo, quando produzido na Europa, conseguiu quatro estrelas (PRATES, 2013). Além dos componentes de segurança, apontou-se como carente quanto a qualidade de fabricação dos automóveis, que são produzidos com soldas mais fracas e materiais de qualidade inferior, quando confrontados a modelos similares fabricados nos Estados Unidos e Europa (MELO, 2014). Recentemente a Latin NCAP informou que terá uma alteração no nível de exigência dos veículos da América Latina e Caribe para que alcance nota máxima, tornando-se uma obrigação a existência de itens de segurança ativa como o Controle Eletrônico de Estabilidade – ESC (Latin NCAP, 2015). Tal equipamento trata-se de sistema que regula a estabilidade do veículo para que conserve a sua trajetória minimizando uma possível capotagem. Vale ressaltar que, nos automóveis novos comercializados desde 1º de novembro de 2014 na Europa este item é considerado obrigatório, enquanto no Brasil ainda é embrionário o investimento em segurança veicular.

Mesmo se tratando de tecnologias concretizadas em outros países, houve um retardamento grande no Brasil para implantação desses itens de segurança ativa e passiva como componentes obrigatórios. Um dos motivos para haver este deslize temporal no aprimoramento dos sistemas de segurança dos veículos brasileiros ocorreu devido ao custo de produção e, por conseguinte, de venda frente à capacidade de compra da grande maioria dos brasileiros. Gioria (2008) defende que ainda é incipiente a taxa de instalação de sistemas de freio ABS nos automóveis brasileiros, muito possivelmente pelo alto valor frente ao poder aquisitivo dos usuários. Para Pedro *et al* (2012), a exigência de sistemas ABS pode adicionar em média R$ 1,5 mil reais no preço de comercialização do veículo, e a incorporação do *airbag* duplo, aproximadamente R$ 2.000,00. Deste modo, não sendo artigos obrigatórios, tais sistemas de segurança acabavam ficando em segundo plano. Os mesmos autores afirmam que as montadoras brasileiras têm um nível de tecnologia que lhes possibilitam fabricar veículos nos parâmetros de segurança europeus. Todavia, a existência de itens opcionais aumenta o valor do veículo e esbarra muitas vezes na renda do consumidor e/ou no seu gosto por ter ou não esses equipamentos. A remoção de conteúdo estrutural e de dispositivos de segurança pelas montadoras é um exercício que visa muitas vezes reduzir custo de projeto e, logo, o preço final, conseguindo dessa forma uma maior penetração no mercado, o que acaba forçando os governos a imporem estes

itens obrigatórios. Essa tática é empregada principalmente em países menos ricos e desenvolvidos, como os da América Latina, África, Oriente Médio e alguns da Ásia. Em países como a Alemanha, itens como *airbag* e ABS não são obrigatórios, porém nenhum veículo é comercializado sem estes dispositivos porque ninguém o adquire (ROMARO, 2013).

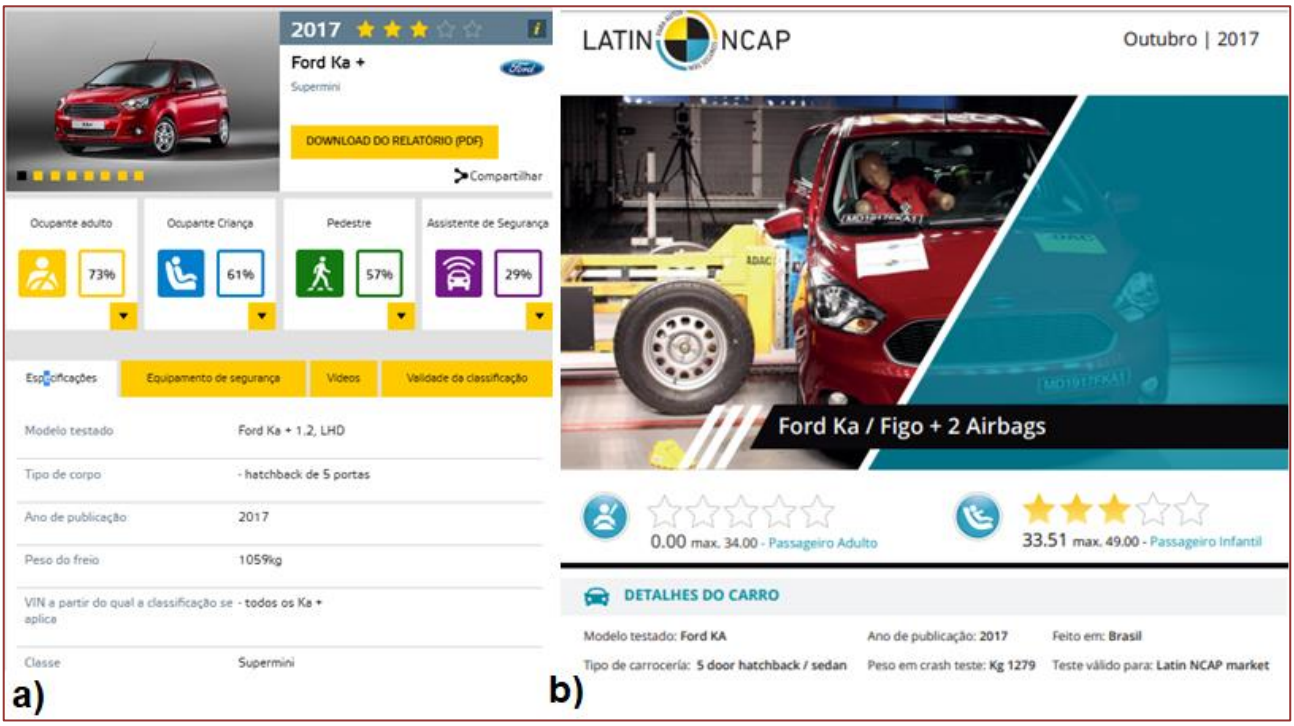
Levando em consideração que dispositivos de segurança adicionais aumentam o preço dos veículos, existem barreiras de ordem política e econômica que podem ter penalizado a evolução dos veículos brasileiros. Prova disso, à véspera da implantação total dos sistemas de freio ABS e *airbag* em 100% da frota de veículos nacionais, em janeiro de 2014, o Poder Executivo, por meio do Ministro da Fazenda, divulgou que tal implantação poderia ser adiada para 2016, receando que houvesse uma alta nos preços dos automóveis e uma redução na sua procura, com impactos negativos na inflação (LIMA, 2013). Ainda assim, houve influência dos sindicatos para prorrogação da medida, com o temor da ocorrência de um grande número de demissões devido a uma possível retirada de linha de alguns veículos em que tais sistemas não poderiam ser instalados, como por exemplo, a Kombi, da Volkswagen (LASCO, 2013). Tais fatores econômicos envolvidos agem como uma barreira, atrasando a evolução e garantia de segurança dos veículos brasileiros, visto que melhorias geram custos maiores às montadoras, as quais tendem a conservar a sua margem de lucro, reduzindo custos a fim de se adequar ao mercado, o que reflete muitas vezes em demissões e acréscimo de preços. Vale lembrar, contudo, que as mencionadas legislações sobre *airbag* e freios ABS foram publicadas, respectivamente, nos anos de 2009 e 2011, definindo que tais itens fossem incorporados progressivamente aos novos projetos de carros. Ou seja, houve um tempo hábil para que todos aqueles afetados com tais medidas fizessem as devidas adaptações, de modo a tornar mínimo qualquer efeito negativo sobre a economia do país. Satisfatoriamente, no desfecho da questão, a implantação dos freios ABS e *airbag* nos novos veículos brasileiros cumpriu o cronograma previsto, havendo uma priorização do aspecto técnico e legal.

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Para efeitos de comparação e avaliação dos resultados relacionados à Segurança Veicular para o *Crash Tests*, foram levantados os dados de testes de dois carros de mesmo modelo, tanto no Brasil quanto em mercado europeu. Sendo assim, o carro escolhido foi o modelo Ford Ka, da fabricante Ford, produzido no ano de 2017. Foram analisados os resultados de desempenho de *Crash Test*, de acordo com a Euro NCAP, órgão responsável pela realização dos testes em mercado europeu, bem como as informações da Latin NCAP, que responde pelos mesmos resultados em mercado brasileiro. Em julho de 2014, o Ka Brasileiro foi apresentado pela empresa produtora como um projeto nacional novo. Vendido até hoje na Europa, no Brasil o carro sofreu um revés significativo: não ganhou sequer uma estrela nos testes do Latin NCAP, conforme apresentado nas Figuras 6a e 6b. Entre outros fatores, porque não traz barras de proteção laterais, que teriam a função de maior absorção e proteção em impactos laterais. No Brasil as barras laterais tem ampla presença desde os anos de 1990. Na Europa, o Ford Ka contém as barras citadas, as mesmas foram retiradas no modelo nacional, mesmo que o projeto do veículo já as previa, como no modelo vendido na Europa. Para piorar, o fato de esse veículo ser vendido em mercados desenvolvidos mostra a disparidade entre este carro fabricado para os europeus poderem comprar aprovado pelo Euro NCAP, e o vendido no mercado brasileiro, em que ele foi concebido.

Conforme se pode perceber, com os dados de ambos os carros, enquanto o modelo brasileiro não consegue nenhuma estrela nos testes de impacto, o modelo europeu conquistou três estrelas em testes muito mais severos. Outro ponto que chamou a atenção na análise dos testes aplicados foi que o Ka+, como ele é conhecido na Europa, passou por 6 testes: impacto frontal parcial (offset), impacto frontal total, impacto lateral, impacto contra poste, *whiplash* (de efeito chicote nos bancos) e de atropelamento. O modelo brasileiro passou por apenas dois testes. Nos impactos que podem ser comparados, os dois únicos que o Latin NCAP executou (frontal parcial e lateral), sempre à mesma velocidade e sob os mesmos parâmetros, o comportamento do Ford Ka brasileiro em todos os resultados apresenta-se inferior em relação aos resultados do modelo europeu.

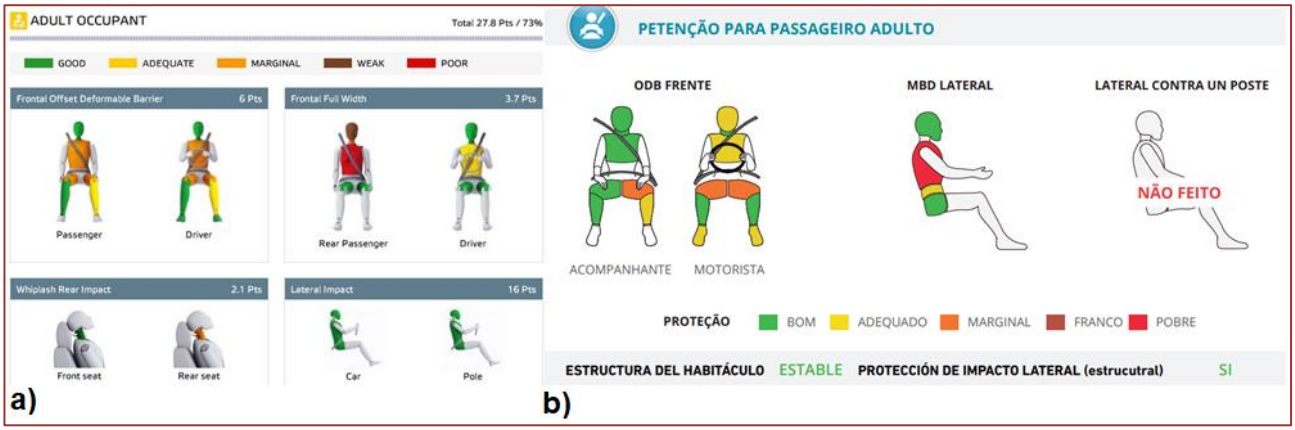
Figura 6 a) Dados de Teste Ford Ka na Euro NCAP; 6) Dados de Teste Ford Ka na Latin NCAP.



Fonte: Euro NCAP (2017) e Latin NCAP (2017)

O Ka europeu, batizado de Ka+ (pronuncia-se plus), já tinha, entre outros itens, *airbags* laterais de cortina, ar condicionado digital, retrovisores com rebatimento elétrico, bancos dianteiros com aquecimento e até mesmo uma frugal barra de proteção lateral. Todos esses equipamentos não estão disponíveis no Brasil, nem como itens opcionais. Em relação ao teste de impacto frontal, que parece bastante similar entre os modelos brasileiro e europeu, apresentaram resultados bem divergentes quando comparados. As Figuras 7a e 7b apresentam tais informações coletadas nos testes em ambas as organizações.

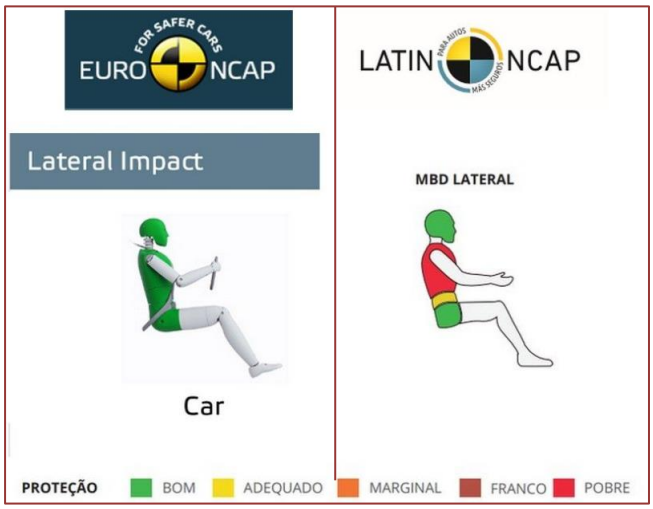
Figura 7 a) Resultado de Teste de impacto Ford Ka na Euro NCAP; 7b) Resultado de Teste de impacto Ford Ka na Latin NCAP.



Fonte: Euro NCAP (2017) e Latin NCAP (2017)

Apesar de apresentarem informações distintas, o teste de impacto no Ford Ka na Europa NCAP (Figura 7a) foi avaliado e considerado um percentual de 73% de aceitação de segurança. Na Figura 7b percebe-se que este percentual não é avaliado pela Latin NCAP. Além disso, alguns testes apresentaram resultado “pobre”, na classificação da empresa; bem como é percebido que outros testes nem são realizados. Seja como for, é no teste lateral que a desigualdade em segurança fica mais evidente. Enquanto o motorista europeu do Ford Ka tem todo o corpo protegido em um impacto lateral, no modelo brasileiro tem-se pouca proteção na região do tórax, inclusive sendo caracterizada como pobre, destacado na Figura 8. Desta forma, fica evidente o baixo grau de proteção oferecido pelo modelo brasileiro, ou seja, enquanto no modelo europeu existe barra lateral que assegura a segurança do motorista, no modelo brasileiro essa proteção não existe. Deste modo, o Ford Ka não contém dispositivos de absorção de energia de impacto lateral em sua estrutura e nem no painel interior das portas. E a Latin NCAP confirmou que o Ford Ka não tem barras de proteção laterais nem reforços na coluna B, o que fez com que apresentasse resultados negativos, conforme mostrado na Figura 8. Além disso, vale ressaltar que nos modelos brasileiros, os painéis internos de plástico também carecem de um dispositivo que ajuda a absorver o impacto.

Figura 8 - Comparação Teste lateral Ford Ka na Latin NCAP x Euro NCAP.



Fonte: Latin NCAP (2017) e Euro NCAP (2017)

Vale ressaltar, conforme dados acima, que não se trata apenas de um problema de falta de *airbags*, mas que o Ka+ contém esse acessório de série na Europa desde sua versão básica, e o Ka brasileiro não oferece este item, nem como opcional. Como se pode perceber na Figura 9a, há penetração da carroceria do modelo brasileiro, alta e com abertura da porta traseira, enquanto o modelo europeu, Figura 4b, mesmo apresentando forte impacto, o usuário do veículo é minimizado devido a atuação o *airbag*. Para o modelo europeu as portas se dobraram pouco em torno da coluna B. Foi essa integridade de carroceria que faltou ao modelo brasileiro no teste apresentado. Além disso, o modelo brasileiro teve abertura involuntária da porta traseira, falta considerada grave pela Latin NCAP, Figura 9a.

Figura 9 - Comparação do resultado do teste lateral Ford Ka na Latin NCAP x Euro NCAP

Fonte: Latin NCAP (2017) e Euro NCAP (2017)

De acordo com o jornal "A Tribuna", a posição do fabricante em resposta oficial ao teste, afirma que "o Ka está disponível no Brasil desde 1997 e cumpre integralmente com a respectiva legislação brasileira. Este carro também oferece equipamentos de série que

vão além das exigências locais de segurança, como distribuição eletrônica de freios (EBD), ISOFIX (para ancoragem de bebê conforto), encosto de cabeça e cinto de segurança de três pontos no banco traseiro central e lembrete de uso do cinto de segurança para o banco do motorista". Pode-se perceber que a resposta é muito semelhante com a apresentada pela GM por ocasião do teste do Chevrolet Onix. Diante dos resultados dos testes no seu modelo, fica evidente que a legislação brasileira necessita de atualização urgente. As normas UNECE95, da ONU, que a Latin NCAP solicita que sejam cumpridas, têm datas dos anos de 1990. Pode-se então observar que o Brasil encontra-se bem distante da realidade tecnológica de outros países europeus. Além disso, fica claro que o desempenho de segurança dos automóveis de passageiros nem sempre é uniforme em todos os países/ localidades nos quais uma montadora comercializa seus carros. É notório que pode depender dos regulamentos locais e da disponibilidade de informações de centros de pesquisa independentes ou de novos programas e regulamentos de avaliação de carros. Embora os automóveis com a melhor classificação estejam disponíveis na maioria das classes de tamanho e preço em países com programas de informações de segurança do consumidor, a história é diferente no Brasil e América Latina como um todo. Os testes do Latin NCAP mostram que muitos veículos não apresentam proteção apropriada em colisões frontais e laterais. Além disso, alguns não têm bom desempenho estrutural de modelos similares produzidos pelos mesmos fabricantes para comércio na Europa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adaptação da tecnologia de segurança nos automóveis, de modo a evitar acidentes ou reduzir a sua morbidade, é um importante fator no combate à acidentalidade. A aplicação dos *Crash Tests* é cada vez mais presente nos novos automóveis, com vistas a criar sistemas que de fato protejam os ocupantes internos do veículo bem como os demais partícipes do trânsito. Porém, ainda assim é evidente que o Brasil apresenta um grande *gap* de oportunidades de melhoria nessa tecnologia. O objetivo geral do trabalho foi alcançado, visto que foi possível demonstrar através de comparações e dados, o aprimoramento da segurança veicular para carros de passeio brasileiros em relação aos internacionais, através da análise de *Crash Tests*. Além disso, este estudo conseguiu avaliar os esforços legais conseguidos no Brasil em relação à segurança veicular, que tem como finalidade evitar acidentes ou reduzir a sua morbidade. Ainda assim, percebeu-se que é lenta a exigência de instalação de mecanismos de segurança nos veículos, quando comparado a países desenvolvidos.

Enquanto no Brasil de modo recente, foram impostas as tecnologias de freios ABS e sistemas de *airbag* em todos os modelos de veículos novos fabricados, por meio de regramentos emitidos por resoluções e leis; em países como os Estados Unidos o sistema de *airbag* frontal duplo já era obrigatório há mais de vinte anos. Em alguns países europeus, apesar de não haver dispositivo legal que obrigue à existência de freios ABS nos veículos, a maioria da frota já apresenta este item, pela conscientização dos consumidores quanto à sua importância. Porém, organizações empenhadas a avaliar a segurança dos veículos em testes de colisão *Crash Test* indicam baixíssimo desempenho de alguns modelos comercializados no Brasil, sendo quase fatais, graves ferimentos ou morte quando do acontecimento de um acidente. Na análise dos testes aplicados, o Ka+ passou por 6 testes: impacto frontal parcial (offset), impacto frontal total, impacto lateral, impacto contra poste, *whiplash* (de efeito chicote nos bancos) e de atropelamento. O brasileiro passou por apenas dois, e comparando estes (frontal parcial e lateral), sempre à mesma velocidade e sob os mesmos parâmetros, o comportamento do Ford Ka nacional

é substancialmente inferior. No teste lateral a desigualdade em segurança fica mais evidente. Enquanto o motorista europeu do Ka tem todo o corpo protegido em um impacto lateral, o brasileiro tem proteção pobre no tórax. Sendo assim fica evidente o baixo grau de proteção oferecido no modelo brasileiro, quando comparado ao modelo europeu.

Deste modo, na tentativa de compreender o motivo do Brasil, embora com altíssimo índice de acidentalidade, chegando a quarenta mil mortes por ano no trânsito, ainda estar aquém na tecnologia de segurança de seus veículos, constatou-se que alguns fatores podem ser apontados. A renda dos brasileiros, analisando o custo adicional no valor de compra dos veículos, bem como a falta de uma cultura de segurança e informação da garantia desses sistemas pela população, assim como fatores de ordem política e econômica, como a influência de montadoras de carros sobre a elevação dos custos de produção bem como dos sindicatos do setor, são fatores a serem ressaltados. Contudo, falar em prevenção de acidentalidade demanda influencia e trabalho com todos os fatores associados a esse fenômeno, sejam aspectos de ordem social, econômica, cultural, política ou administrativa. Especialmente em relação à segurança veicular, é basilar a implantação de avaliações no intuito de desenvolver a frota nacional com a inclusão de itens de segurança modernos, de modo que os veículos brasileiros se assemelhem aos parâmetros de segurança internacionais e possam trabalhar como um fator de garantia de proteção aos usuários do trânsito na ocorrência de acidentes e incidentes.

REFERÊNCIAS

[1] 96/79/EC - Diretiva do Parlamento Europeu do Conselho de 16 de dezembro de 1996, na proteção dos ocupantes de veículos automotores no evento de impacto frontal e fazendo emenda a Diretiva 70/156/EEC – janeiro, 2000.

[2] ADR 69/00. Vehicle Standard, Australian Design Rule - Full Frontal Impact Occupant Protection. Outubro, 2007.

[3] ADR 73/00. Vehicle Standard, Australian Design Rule - Offset Frontal Impact Occupant Protection. Novembro, 2005.

[4] BOSCH, Manual de Tecnologia Automotiva 25° Ed. Editora Edgard Blücher; 2005.

[5] CENTRO DE EXPERIMENTAÇÃO E SEGURANÇA VIÁRIA. ABS em motos. 2015. Disponível em: <http://www.cesvibrasil.com.br/site.aspx/Noticia/ABS-em-Moto>. Acesso em: 12 mai. 2020.

[6] CUNHA, Victor Alvarez da. As Novas Normas Técnicas Brasileiras para Teste de Impacto Frontal Veicular para Proteção dos Ocupantes: Definição do Melhor Teste para o Mercado de Veículos Vendidos no Brasil e a Análise Financeira para Atualização do Laboratório de Testes. 2011. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

[7] DALMO, Hernandes. Como surgiram os crash tests? 2019. Acessado em 20 de junho,2020. Disponível em: <https://flatout.com.br/author/dalmohern/page/19/>.

[8] ECE R94. Regulamento 94 da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa. Uniform Provisions Concerning the Approval of: Vehicles with Regard to the Protection of the Occupants in the Event of the Occupants in the Event of a Frontal – 2008.

[9] EURONCAP. How to read the stars. 2017. Disponível em: <http://www.euroncap.com/en/about-euroncap/how-to-read-the-stars/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

[10] FMVSS 208. Federal Motor Vehicle Safety Standard (49 CRF part 571). Occupant Crash Protection – fevereiro, 2010.

[11] GIORIA, G. S. Influência da utilização do ABS na segurança veicular baseada na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento de roda. 2008. Dissertação. (Mestrado em Dinâmica das Máquinas e Sistemas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

[12] GRANDE, Campo Grande. Crash-test do VW T-Cross mostra: segurança e juízo não fazem mal a ninguém. 2019. Acessado em 20 de junho,2020. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/crash-test-do-vw-t-cross-mostra-seguranca-e-juizo-nao-fazem-mal-a-ninguem/>

[13] IKEDA, T. Segurança Veicular Dispositivos de Segurança Passiva-Descrição e Recomendações. Tese (Doutorado) — Dissertação de mestrado, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, 2012.

[14] JASIC. Archive. 2009. Disponível em: < https://www.jasic.org/e/06_archive/report2009/report2009.htm>. Acesso em 02 abr. 2020.

[15] LASCO, T. Governo pode adiar obrigatoriedade de airbag e ABS. 2013. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/jornal-do-carro/noticias/mercado,governo-pode-adiar-obrigatoriedade-deair-bags-e-abs,16119,0.htm>. Acesso em 02 abr. 2020.

[16] LATINNCAP. Crash test lateral - reforços estruturais para o impacto lateral nas portas. 2017. Disponível em: <https://www.latinncap.com/po/resultado/97/ford-ka--figo-+ -2-airbags>.

[17] LATINNCAP. Mais publicações do LATINNCAP e novos protocolos para 2016. 2015. Disponível em: <http://www.latinncap.com/po/noticias/854f849aebca31/mais-publicacoes-do-latin-ncap-e-novosprotocolos-para-2016>. Acesso em 10 abr. 2020.

[18] LIMA, D. Governo pode adiar obrigação de airbag e ABS nos automóveis fabricados no Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/noticias/economia/2013/12/governo-pode-adiarobrigacao-de-airbag-e-abs-nos-automoveis-fabricados-no>. Acesso em 03 abr. 2020.

[19] LIMA, MARCOS LEANDRO. “Apresentação do sistema FCW como alternativa para diminuir acidentes de trânsito do tipo colisão traseira”. 2011

[20] MAGALHAES, Aline. Vida de Dummy: Conheça mais sobre os bonecos utilizados nos Crash Tests. 2014. Auto Esporte. Disponível em: <https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2014/06/vida-de-dummy-conheca-mais-sobre-os-bonecos-utilizados-em-crash-tests.html>. Acesso em 03 jun. 2020.

[21] MELO, I. Veja o que dizem os testes que avaliam o nível de segurança dos carros vendidos no Brasil. 2014. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/vida-e-estilo/noticia/2014/09/veja-o-quedizem-os-testes-que-avaliam-o-nivel-de-seguranca-dos-carros-vendidos-no-brasil-4592691.html>. Acesso em 10 abr. 2020.

[22] MENDONÇA, Douglas. Crash test: carro atual enfrenta carro antigo. Quem leva a melhor?. 2019. Acessado em 20 de junho, 2020. Disponível em: https://www.autoentusiastas.com.br/2019/05/crash-test-carro-atual-enfrenta-carro-antigo-quem-leva-a-melhor/

[23] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIARIA. Acidentes de trânsito matam mais que câncer no. 2013. Acessado em 27.06.2020. Disponível em: http://www.onsv.org.br/acidentes-de-transito-matam-mais-que-cancer-no-brasil/.

[24] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIARIA. Acidentes são causados por falhas humanas alerta observatório. 2013. Acessado em 27.06.2020. Disponível em: https://www.onsv.org.br/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio/.

[25] PEDRO, L. S. et al. A recente regulamentação do setor automotivo brasileiro e as possibilidades de atuação do BNDES. 2012. Disponível em: < https://goo.gl/JZEcas >. Acesso em 10 abr. 2020.

[26] PEREIRA, Felipe de Oliveira Gomes; SOUZA; Rodrigo Ferreira de Lima Lino de. Segurança Veicular Ativa Sistemas de Monitoramento do Motorista. Centro Paula Souza Faculdade De Tecnologia Fatec Santo André. SP. 2013.

[27] PRATES, M. Carros produzidos no Brasil são "mortais", segundo agência. 2013. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/carros-brasileiros-sao-chamados-de-mortais-por-agencia>. Acesso em 10 abr. 2020.

[28] ROMARO, M. Segurança veicular: o que vem de fábrica. 2013. Disponível em: <http://www.perkons.com/pt/noticia/1342/seguranca-veicular-o-que-vem-de-fabrica>. Acesso em 04 abr. 2020.

[29] SÁNCHEZ, C. A. A. Estudo de impacto usando elementos finitos e análise não linear. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2001.

[30] SILVA, David Souza da. Análise de impacto por elementos finitos sobre dispositivo estrutural de segurança veicular lateral. 2018. 172 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) —Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

[31] VRUM, postado por CERQUEIRA, Pedro. Não seja iludido: conserto errado da estrutura afeta segurança do veículo. 2014. Acessado em 20 de junho, 2020. Disponível em: https://estadodeminas.vrum.com.br/app/noticia/noticias/2014/10/09/interna_noticias,50012/defenda-se-conserto-errado-da-estrutura-afeta-seguranca-do-veiculo.shtml.

[32] WAISELFISZ, J. J. Mapa da violência 2011: acidentes de trânsito. 2011. Disponível em: <http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2011/acidentes_transito.pdf>. Acesso em 20 abr. 2020.

[33] YOUNG, Joe. Os ganhos de segurança não são globais: algumas regiões estão atrasadas. 2013. Acessado em 01.06.2020. Disponível em <https://www.iihs.org/news/detail/safety-gains-arent-global-some-regions-lag>.

Capítulo 11

Análise de dados ergonômicos e adaptação de projeto inovador Exoesqueleto

Matheus Flávio Andrade
Jussara Fernandes Leite
Grace Marisa Miranda de Paula
Fernando de Souza Santana
Luciano Rodrigues dos Anjos

Resumo: A Ergonomia está presente em todos os campos de atuação onde existe trabalhadores, busca estudar e adaptar o ambiente de trabalho ao homem utilizando conceitos técnicos e aplicações de normas e/ou equipamentos. O presente estudo teve como objetivo apresentar um projeto de inovação utilizando um equipamento inovador (Exoesqueleto), que visa corrigir postura inadequada, excessos de peso em movimentações manuais de carga trazendo maior conforto para os trabalhadores. Nesse sentido, esta pesquisa é um estudo de caso realizado em uma empresa de mineração na região do Alto Paraopeba em Minas Gerais. Ela é caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, descritiva e exploratória. Com base no desenvolvimento dos estudos, aplicou-se a técnica subjetiva e o método RULA e proposto ações objetivas de técnicas de ergonomia e apresentado um projeto de inovação utilizando um equipamento inovador (Exoesqueleto), que visa corrigir as posturas e movimentações inadequadas e excessos de peso em movimentações manuais de carga. Após testes efetuados e que foram apresentados neste estudo, alcançou-se os melhores resultados possíveis, alcançando uma excelente performance, viabilizando a aquisição do equipamento (Exoesqueleto) que, com a aplicação das demais ações, foi possível iniciar uma queda nas taxas de absenteísmo ergonômico, trazendo melhor conforto e melhores condições de trabalho para os empregados.

Palavras-chave: Ergonomia. Exoesqueleto. RULA. Técnica Subjetiva.

1. INTRODUÇÃO

Oliveira (2021) esclarece que segurança do trabalho é um conjunto de medidas de prevenção adotadas para proteger os colaboradores de uma empresa e reduzir riscos de acidente de trabalho e doenças ocupacionais. Essa autora ainda afirma que a segurança do trabalho visa proporcionar aos empregados das empresas um ambiente de trabalho saudável para que as tarefas laborais sejam realizadas da melhor forma possível.

Os riscos ocupacionais são identificados na área de segurança do trabalho. Esses riscos são de acidente, físico, químico, biológico e ergonômico. Nesta pesquisa, a abordagem é a ergonomia, que é a base do risco ergonômico.

Um fator a destacar é que legislação brasileira busca proteger o empregado e orientar o empregador por meio da Normas Regulamentadoras (NR). Uma dessas normas especificadas para a ergonomia é a NR 17, que apresenta uma série de diretrizes que devem ser seguidas pelas empresas quanto à ergonomia.

Sobre à área de Ergonomia, de acordo com dados estatísticos levantados no Brasil pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2001), o diagnóstico em LER/DORT alcança números elevados piorando o cenário para os trabalhadores. Em uma pesquisa realizada por esse órgão com 310 mil trabalhadores diagnosticados com LER/DORT, obteve-se o seguinte resultado: 23% dos que receberam diagnóstico de LER/DORT apresentam inchaço em alguma parte do corpo, 19% costumam sentir dormência e 15% sentem dores frequentes.

A partir da crescente dos indicadores de doenças ocupacionais, este estudo visa atuar utilizando o que é exigido por lei em um problema vivido atualmente por uma empresa de mineração. Este artigo busca atender a legislação, utilizando adaptações nos ambientes de trabalho e implementação de controles administrativos.

Com a finalidade de melhorar as condições de trabalho e proteger o trabalhador de doenças ocupacionais, nos últimos anos, com os avanços tecnológicos, a área de ergonomia está sendo beneficiada com o desenvolvimento de sistemas, máquinas e robôs para serem utilizados nas empresas para substituir ou auxiliar os funcionários em tarefas do dia-a-dia. Esses sistemas são utilizados para evitar doenças que são adquiridas pelos empregados ao executar esforços superior à sua capacidade ou a posturas inadequadas ao exercer as funções do cargo.

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo apresentar um projeto de inovação utilizando um equipamento inovador (Exoesqueleto) (EKSO BIONICS 2019), que visa corrigir postura inadequada, excessos de peso em movimentações manuais de carga trazendo maior conforto para os trabalhadores.

2. ERGONOMIA E OS CONCEITOS

Lida em (2005) citado por Santos (2019) informa que a ergonomia busca estudar e adaptar o ambiente de trabalho ao homem, e faz interface neste estudo, observando equipamentos e os ambientes e cenários, propõe a aplicação de conhecimentos de fisiologia, psicologia e anatomia, na solução dos problemas que possam surgir quando executado esta interface de análise.

Um dos métodos utilizados para realizar uma avalição ergonômica é o RULA, que é uma ferramenta de avaliação de riscos de DORT e tem como principal objetivo avaliar a exposição dos trabalhadores e identificar riscos de disfunções relacionadas a força excessiva, posturas extremas e atividades com esforços repetitivos, dando ênfase nos

membros superiores e inferiores (BAÚ, 2002; LUEDER 1996; DIEGOMÁS E CUESTA, 2007 citado por SANTOS 2019).

2.1. MÉTODO RULA (RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT)

A preocupação das empresas com a saúde de seus colaboradores devem ser cada vez maior, buscando aliar a produtividade com a integridade das pessoas. O método RULA surgiu com este objetivo, realizar uma avaliação postural e propor para que estes produzem mais e melhor. A ergonomia se enquadra como participante fundamental para o processo produtivo, buscando adequar o trabalho ao ser humano utilizando técnicas, métodos e análise de postural, definindo como ações medidas de correção postural e adequação do posto de trabalho ao operador. (CORDEIRO, 2015).

Welber, Salles e Saes (2018) esclarece que o método RULA (Rapid Upper Limb Assessment), cujo seu significado é uma "Avaliação Rápida do Membro Superior", é uma avaliação rápida e eficaz dos danos potenciais aos membros em função da postura adotada. Baseia-se na observação direta das posturas do pescoço, tronco, membros superiores (braço, antebraço e mãos) e pernas, relacionando-os com o esforço muscular e a carga externa a qual o corpo está submetido.

3. O ESTUDO DE CASO

Esta pesquisa é um estudo caso de natureza bibliográfico, exploratória, documental, descritiva e aplicada. Seu objetivo é apresentar um projeto de inovação utilizando um equipamento inovador (Exoesqueleto), que visa corrigir postura inadequada, excessos de peso em movimentações manuais de carga trazendo maior conforto para os trabalhadores. O estudo ocorreu no período de janeiro a outubro de 2022 em uma empresa mineradora da região do Alto Paraopeba em Minas Gerais.

Para a realização deste estudo, foi formado um Comitê Ergonômico, composto por Ergonomista, Engenheiro de Segurança do Trabalho, Médico do Trabalho, Técnico de Enfermagem do Trabalho e Técnico de Segurança do Trabalho.

Uma técnica subjetiva, que é um questionário, foi aplicada aos funcionários de todos os setores com a finalidade de identificar o setor e o posto de trabalho com maior criticidade que necessita de uma atuação imediata. Essa fase da pesquisa teve um cunho exploratório.

Em sequência, a metodologia RULA foi desenvolvida com o propósito de identificar o setor e o posto de trabalho com maior criticidade levantada pela técnica subjetiva que necessita de uma atuação imediata. Essa fase também teve um cunho exploratório. Nesse contexto, foi identificado o posto de trabalho do Auxiliar de Laboratório.

Os dados desta pesquisa são de natureza qualitativa e quantitativa. Os dados qualitativos são referentes as características do exoesqueleto, do posto de trabalho e do resultado do questionário aplicado a todos os funcionários da empresa. Esses foram analisados por meio de análise de conteúdo.

Os dados quantitativos referem-se as taxas de absenteísmo do período de janeiro de 2021 a setembro de 2022. Esses foram retirados de relatórios da empresa o que é característica de uma pesquisa documental.

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

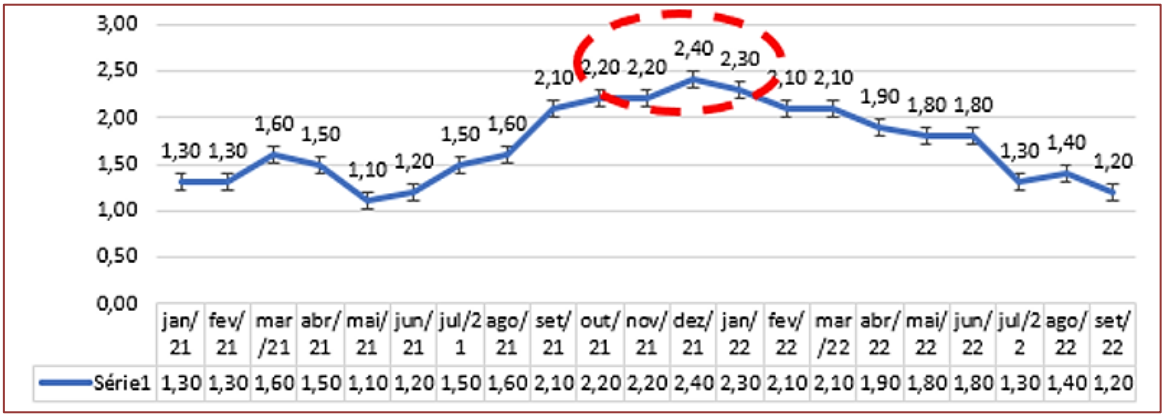
Diante das legislações, normas técnicas e orientações de profissionais de Ergonomia, pode-se entender a necessidade da aplicação dos conceitos ergonômicos em todas as cadeias produtivas das empresas. A amplitude dos conceitos ergonômicos, faz com que vejamos a necessidade para que as empresas se preocupem e dediquem esforços de prevenção e controle no aspecto da ergonomia, definindo estratégias e conceitos para as organizações.

Em uma grande empresa do processo de mineração, foi realizado uma análise mais aprofundada e real nas questões de absenteísmo e afastamentos, estes com total relação com a ergonomia. Neste trabalho, é apresentado algumas ações que se encontram em período de teste, outras já implantadas e outras em processo de implantação.

No início deste projeto, percebeu-se números elevados de absenteísmo junto as questões ergonômicas, fazendo com que fosse montado um comitê ergonômico com o objetivo de entender os reais problemas e propor ações eficientes que quando implementadas, melhore o índice apontado atualmente trazendo melhores condições de trabalho paras as equipes operacionais.

Em sequência, foi levantado o número de absenteísmo e janeiro de 2021 a setembro de 2022, conforme pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Indicadores de absenteísmo dos anos 2021 e 2022.

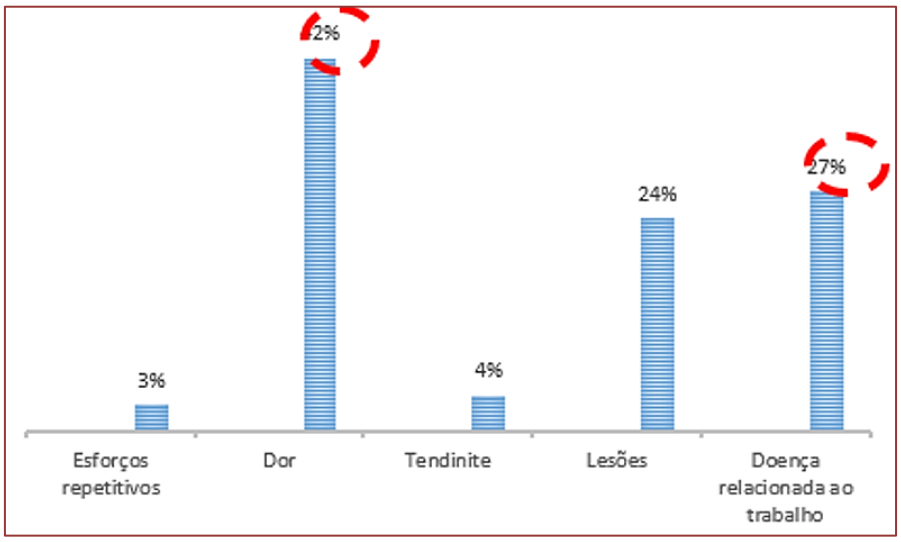


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Por meio do Gráfico1, observa-se uma alta considerável do número de absenteísmo nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2021. Ao analisar as causas desse indicador nesses meses, é possível identificar que os absenteísmos encontrados de maior peso se trata de trabalhadores que se queixam de dores muscules e lombar.

Ao realizar um resumo destes indicadores, o Gráfico 2 apresenta os motivos dos valores de absenteísmo, separando-o a relação com questões ergonômicas ou demais doenças ocupacionais.

Gráfico 2 – Principais Motivos de Absenteísmo Ergonômico.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Diante destes dados, a equipe ergonômica da saúde ocupacional da empresa, elaborou um comitê ergonômico a fim de levantar pontos críticos que estão favorecendo o aumento destas doenças ocupacionais através de levantamento de dados e aplicação de técnicas já mencionadas neste estudo.

Conforme apresentado na metodologia, o comitê ergonômico foi composto por Ergonomista, Engenheiro de Segurança do Trabalho, Médico do Trabalho, Técnico de Enfermagem do Trabalho e Técnico de Segurança do Trabalho. No mês de Dezembro de 2021, iniciou-se então este comitê com a aplicação de técnicas que já são desenvolvidas e recomendadas por especialistas.

Foi dado início a uma fase de análise das atividades, utilizando a técnica subjetiva. Aplicando essa técnica, foi possível fazer o levantamento de todas as áreas consideradas críticas da empresa, fazendo com que seja possível definir um plano de ação estratégico para atuar do mais crítico até o aceitável, respeitando a criticidade de cada cenário priorizando-o para que seja possível um tratamento imediato.

Após a implantação da técnica subjetiva abrangendo todos os empregados na ativa da empresa, surgiu dados relevantes para atuação imediata por este comitê ergonômico. Por meio dos resultados, percebeu-se 14 pontos críticos considerados setores da empresa, onde o comitê ergonômico focou na atuação imediata, estudando melhor cada caso para que a condição desfavorável, seja regularizada com ações administrativas ou de engenharia.

Diante desta criticidade, em um cronograma elaborado pelo comitê, foi adotado como estratégia a implantação do método RULA em todas as áreas críticas que foram identificadas.

O objetivo principal nesta 2ª etapa utilizando o método RULA é que nesta análise, seja possível avaliar a exposição dos trabalhadores e identificar riscos em relação a força, posturas e atividades repetitivas em membros inferiores e superiores.

Esta outra análise, visa mensurar de forma mais detalhada, a atividade que precisa de uma atenção imediata, definindo assim um Ranking de prioridades para o atendimento.

Neste caso, o comitê dentro deste cronograma, buscou atender as 14 áreas críticas levantadas pela análise subjetiva em um período de 120 dias. Esta avaliação RULA, visa acompanhar toda atividade do trabalhador durante sua jornada de trabalho, efetuando a análise e avaliando as movimentações de membros inferiores e superiores deste empregado utilizando o diagrama de postura, que representa o corpo humano em três tabelas, avaliando a pontuação para classificar o grau de risco, variando de 1 ao 7. Neste caso, o Quadro 1 apresenta os valores do grau de risco das atividades críticas.

Quadro 1 – Grau de Riscos das Atividades Críticas - RULA

Atividades	Pontuação
Auxiliar de Laboratório – Recolhimento e movimentação de amostras (Posições críticas, excesso de peso em movimentações manuais).	7
Mecânico de manutenção de equipamentos de Mina – Manutenções em geral em equipamentos (Posições críticas, excesso de peso em movimentações manuais).	7
Lubrificador de equipamentos de Mina – Processo de lubrificação de equipamentos. (Posições críticas).	6
Operador de equipamento fora de estrada Sany – Operação de equipamento de Mina. (Equipamento importado não adaptado para as condições ergonômicas recomendadas pela NR17 em todo sistema).	6
Blaster – Equipe de demolição. (Excesso de peso em movimentação manual no transporte de explosivos e reatores, em longos percursos).	5
Auxiliar de Sinalização de Mina – Controle de fluxo de veículos e equipamentos fora de estrada. (Subida e descida de escada em toda movimentação e intervenção de veículos nos percursos do fora de estrada, translado frequente)	4
Operador de planta de beneficiamento – Acompanhamento de operação de planta de beneficiamento (Acesso a áreas críticas de difícil locomoção, necessário posturas incorretas durante todo expediente)	3
Operador de jateamento e controle – Processo de Jateamento, posições críticas. (Excesso de peso de mangueira de jateamento).	3
Operador de mini Pá Carregadeira (BOB Cat) – Operação do equipamento, (Excesso de vibração e equipamento com espaço limitado, originando em postura inadequada).	3
Operador de CMAI e planta gravimétrica – Acompanhamento das plantas e acessos por longos percursos.	3
Operador de Mantenedor. - Acompanhamento da execução e a operação do programa de manutenção. (Posições críticas).	3
Sondador – Realização do processo de sondagem de solo. (Excesso de peso para movimentação manual, posições críticas).	3
Auxiliar de mineração – Realiza o processo de transporte de cargas manuais de amostras e granulados. (Excesso de peso para movimentações manuais e baixa luminosidade dos locais de acesso).	2
Montador de andaime – Realiza o processo de montagem de andaimes tubular e instalação de plataformas em geral. (Posições críticas e excesso de peso para movimentações manuais.	2

Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

Após feito análise e definido os pontos mais críticos e as atividades mais críticas, elabora-se um plano de ação para que os itens identificados, sejam tratados buscando eliminar, neutralizar ou minimizar. De acordo com esta análise e após feito o a listagem e grau de pontuação, foi identificado a atividade do auxiliar de laboratório como mais crítica, trata-se de um empregado que executa movimentações manuais com enorme frequência de amostras gerando tensão muscular, dores lombares, cansaço constante e uma carga de estresse elevada, devido a alta demanda e baixo contingente.

A atividade do Auxiliar de Laboratório, foi desmembrada em etapas por parte do comitê de ergonômica para que fosse assistido detalhadamente cada processo e elaborado medidas para cada risco identificado. Essas etapas podem ser observadas no Quadro 2 a seguir.

Quadro 1 – Etapas das Atividades do Auxiliar de Laboratório

Item	Atividade	Risco ergonômico	Detalhamento
1	Posicionamento de caixotes em transportador.	Postura inadequada.	8 Caixotes por vez, sendo que esta movimentação é realizada em média 20 vezes durante todo seu expediente de trabalho. Peso aproximado dos caixotes: 29Kg.
2	Movimentação e posicionamento de caixotes em ficultura.	Postura crítica.	Espaço limitado, máquina ficultura sendo necessário posturas inadequadas devido o Lay Out. Atividade realizada em aproximadamente 20 vezes/turno.
3	Retirada/Colocação de material no britador.	Postura crítica.	Devido a altura do apanhador, o operador utiliza postura inadequada afim de facilitar o manuseio do material. Atividade realizada em aproximadamente 13 vezes/turno.
4	Marcação de amostra em balança.	Peso excessivo. Postura crítica.	Utiliza-se amostras de aproximadamente 30Kg. Bancada abaixo do recomendado. Atividade realizada em aproximadamente 8 vezes/turno.
5	Pesagem de produtos.	Peso excessivo. Postura crítica.	Pesagem e registro de valores em tablet. Atividade realizada em aproximadamente 20 vezes/turno.
6	Movimentação do engavetador.	Estresse Controle rígido de produtividade.	Deve-se posicionar esta gaveta com os materiais em todo expediente, caso contrário, gera-se uma parada de produção. Atividade realizada em aproximadamente 6 vezes/turno
7	Processo de arquivamento.	Peso excessivo. Postura crítica.	Fracionamento de amostras para arquivamento em prateleira. Atividade realizada em aproximadamente 20 vezes/turno.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

De acordo com a avaliação da atividade realizada pelo profissional Auxiliar de Laboratório nas etapas citadas no quadro anterior, concluiu-se que é frequente o

levantamento de peso excessivo superior a 24Kg, ritmo excessivo de trabalho, repetitividade e postura inadequada de trabalho, totalizando uma pontuação de 7 Pontos. Concluímos que de acordo com tabela de grau de risco, esta atividade se enquadra em crítica, sendo necessário a adoção de medidas imediatas para tratamento dos riscos.

Finalizado este processo de análise, o comitê ergonômico através destes dados e estudos da atividade em questão, traçaram um Plano de ação com ações de curto, médio e longo prazo.

Foi proposto ações de readequação do Layout (Já implantado), restruturação do método de trabalho (Já implantado), retomada da Ginástica Laboral no início do expediente, adequações em mobílias, bancadas e prateleiras (Já implantado), treinamento de técnicas ergonômicas para todo efetivo local (Em andamento), implantação da AET Análise Ergonômica da Tarefa (Em andamento) e, a busca no mercado de equipamentos/ferramentas que possa auxiliar neste trabalho de redução dos riscos ergonômicos nesta atividade.

Após o plano de ação e tratamento destas ações definidas, o Comitê identificou no mercado um equipamento revolucionário, com estrutura mecânica e articulações que permitem o movimento do operador humano. São usados no corpo, apoiados no esqueleto interno do ser humano eliminando o excesso de peso da carga para o trabalhador. Foi realizado um levantamento aprofundando nas características do produto, buscando entender a sua aplicação, as referências, as possibilidades de aquisição e os custos.

Por meio das Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 é possível entender algumas aplicabilidades, este equipamento enrijece o corpo, os braços, a coluna, pescoço, inibe o tensionamento inadequado de joelhos em movimentação de cargas manuais corrigindo posturas inadequadas.

A Figura 1 ilustra a correção da postura para realizar levantamento de peso com a utilização do exoesqueleto.

Figura 1 - Correção de postura e levantamento de peso.

Fonte: Universidade Waseda (2018)

Na Figura 2, pode-se observar o apoio que o empregado tem ao realizar posições críticas com a utilização do exoesqueleto, que proporciona uma melhor condição de trabalho.

Figura 2 - Apoio ao empregado em posições críticas, melhorando o conforto e satisfação durante a execução das atividades.

Fonte: Quatro Rodas - Rodrigo Ribeiro (2018)

Movimentação manual de carga, fortalece o antebraço através da estrutura do equipamento, permitindo que o operador ao movimentar cargas manuais, parte do peso desta carga seja resistida pelo equipamento. Lembrando que, o peso manual recomendado pela OIT (Organização Internacional do Trabalho) é de 24Kg por pessoa, no entanto, este valor é mantido mesmo com o uso do equipamento. A Figura 3 mostra a utilização do exoesqueleto para levantamento de carga manual.

Figura 3: Levantamento de carga manual com exoesqueleto.

Fonte: Brasil News (2015)

Auxílio no o uso de ferramentas manuais e braços elevados em longos períodos, diminuindo a fadiga muscular no manuseio de equipamentos e em posições críticas, conforme pode ser verificado na Figura 4.

Figura 4 – Utilização do exoesqueleto com ferramentas manual.

Fonte: Redação Auto Esporte (2017)

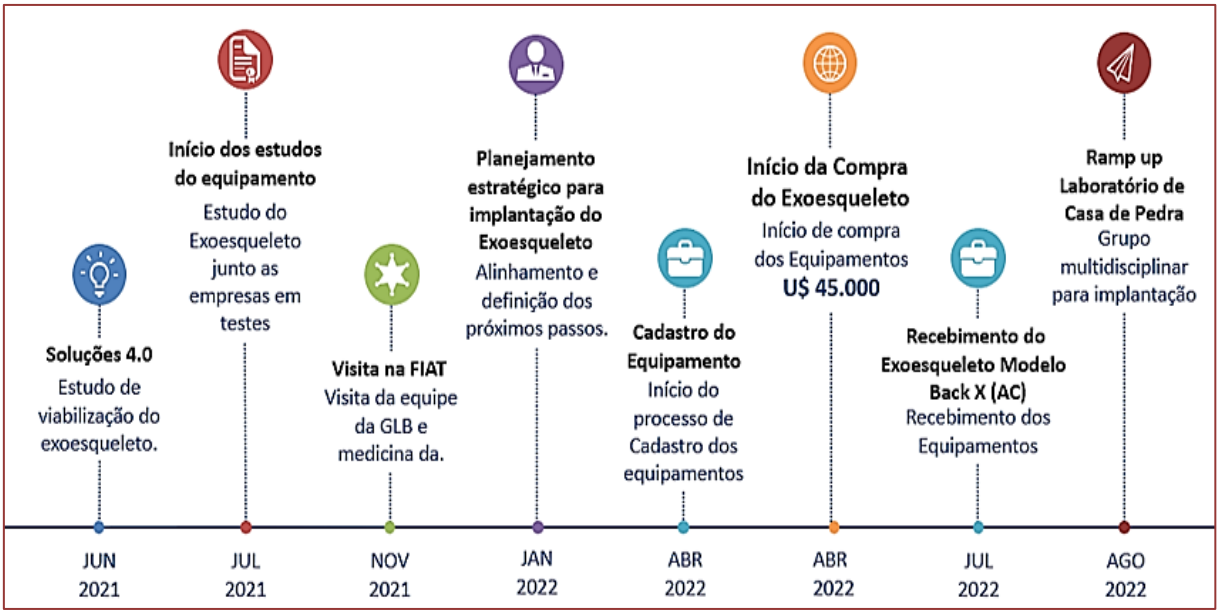
Figura 5 – Utilização do exoesqueleto com ferramentas manual.

Fonte: Camila Melo (2018)

Após levantado o estudo de aplicabilidade deste equipamento nas operações da empresa, o comitê definiu como prioridade a aquisição de um modelo teste, buscando implementar na prática sendo possível observar sua aplicação diária com o envolvimento dos profissionais que se aprovado, devem utilizar o equipamento na prática.

Para implantação inicial, o comitê de ergonomia traçou uma linha do tempo para dar início ao projeto e implantação do exoesqueleto. Essa linha pode ser observada na Figura 5.

Figura 6 – Histórico do Projeto.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Nesta linha do tempo, foi previsto a implantação deste projeto no mês de Setembro de 2022, porém, este prazo encontra-se estendido para o final do mês de Outubro devido a aquisição dos demais equipamentos.

O exoesqueleto, durante a realização dos testes, foi eficaz em todas as etapas do trabalho do Auxiliar de Laboratório, não gerando incômodo ao usuário e corrigindo as irregularidades de posturas durante a execução das tarefas. O Quadro 2 apresenta as atividades do Auxiliar de Laboratório sendo executado com o auxílio do exoesqueleto.

Diante destes testes efetuados, a correção da postura irregular demonstra eficiência na condição exposta pelos dados já apresentado, o equipamento enrijece em posições incorretas e não permite este movimento inadequado, melhorando o hábito do usuário e minimizando lesões ou dores musculares.

Quadro 2 – Utilização do Exoesqueleto nas Atividades do Auxiliar de Laboratório

Aplicação	Benefício	Imagem fotográfica
Movimentação de caixas de amostras:	Correção da coluna vertebral durante abaixamento. Distribuição da carga do usuário para o equipamento.	
Manuseio de amostras em equipamento do laboratório.	Não ocupa espaço e não gera agarramentos em estruturas/equipamentos.	
Recolhimento de amostras em britador e movimentação de caixotes de coletor.	Flexão de lombar de acordo com a postura recomendada.	
Limpeza e sopramento em bancada.	Postura adequada durante atividade	
Retirada/ Colocação de coletor.	Postura adequada durante atividade.	
Pesagem da amostra.	Postura adequada durante atividade.	
Arquivamento de amostras.	Postura adequada durante atividade. Diminuição da carga de transporte.	

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

3.1.1. ENTREVISTA COM USUÁRIOS DO EXOESQUELETO NO PERÍODO DE TESTE

Após a aplicação do exoesqueleto, nesta análise, os operadores quando entrevistados, ao questionar se este equipamento é usual, confortável e se ele percebeu resultados significativo, as respostas foram positivas. Segundo os empregados, o equipamento corrige as posturas, não causa incômodo. Relataram que é como utilizar um cinto de segurança para trabalho em altura.

Os empregados explicaram que no início, houve resistência em acostumar com o uso, porém após uma semana de utilização, ao retirá-lo para encerrar o expediente, eles sentiam falta do uso do equipamento que é confortável e adaptável a realidade laboral. Informaram que o mais difícil foi acostumar com a flexão dos joelhos, por ter sempre feito o errado e que, atualmente, mesmo sem o equipamento, abaixam com a coluna reta flexionando os joelhos devido ao bom costume que o equipamento causou.

Acrescentaram ainda que, no final do expediente, sentiam um forte cansaço, dores lombares localizadas e dores musculares nas pernas e coxas, mas, com uso do equipamento, as dores sumiram e o cansaço físico diminuiu consideravelmente.

Informou também que as ações em paralelo ao equipamento, foram ações que auxiliaram tanto na implantação do equipamento quanto no aumento na percepção de riscos ergonômicos. Por fim expressaram que hoje se sentem mais protegidos e preparados para realizar suas atividades.

3.1.2. PARECER DA EQUIPE TÉCNICA DO COMITÊ ERGONÔMICO

Este estudo e este trabalho do comitê de ergonomia, demonstrou como é possível adequar o posto de trabalho ao trabalhador, fazer o caminho inverso não é adequado e suficiente para eliminar as condições de riscos ergonômicos.

As equipes estavam engajadas, a liderança atuou como apoio e suporte e foi possível iniciar este trabalho colhendo muitos frutos já de início.

Além da implantação do exoesqueleto, as ações imediatas e de preparação para implantação do equipamento, também foram de importante para uma implantação adequada, no tempo certo e com os resultados esperados conforme apresentado no Gráfico 1, onde os indicadores com as primeiras ações iniciaram em uma decrescente.

Diante do que foi apresentado a equipe ergonômica já percebe os resultados e reforça que, além de implantar, é necessário manter, e manter não é uma tarefa fácil. Neste caso, ficou definido como implementado e que deve se manter como processo de monitoramento, acompanhamento e fiscalização, o atendimento as ações listadas:

1. Adoção e frequência de ginástica laboral no início das atividades.
2. Elaboração e atualização de acordo com a necessidade das AET (Análise Ergonômica do Trabalho).
3. Readequação e acompanhamento para necessárias mudanças dos Lay outs de posicionamento de bancadas, equipamentos após realização da técnica subjetiva.
4. Readequação e monitoramento das mudanças quando houver a necessidade das instruções técnicas e procedimentos em geral, sempre utilizando método RULA como análise.

5. Capacitação e reciclagens da equipe operacional quanto aos conceitos ergonômicos, as técnicas e os riscos.

6. Implantação e manutenção do equipamento exoesqueleto nas atividades do Auxiliar de Laboratório.

São ações de engenharia, administrativa e sistêmica, que consiste desde o comportamento do empregado até a correção imediata em caso de não adoção das técnicas.

Entende-se que, uma equipe mais qualificada, preparada através das adequações das instruções e procedimento, o Lay out que favorece e preparação diária com a adoção da Ginástica Laboral e, a utilização de um equipamento moderno, simples e eficaz, haverá ganhos imensuráveis para todos os envolvidos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Norma Regulamentadora – NR n°17 do MTP, estabelece as diretrizes e os requisitos que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar conforto, segurança, saúde e principalmente, desempenho eficiente no trabalho. (PORTARIA MTB N°3.214)

Este trabalho e esta estrutura elaborada pelo comitê de ergonomia visou tudo isso, primeiramente, melhorar e garantir as condições de trabalho dos empregados trazendo a satisfação de todos, melhorando o ambiente ao todo e por último, atender os requisitos legais aliando a produtividade com a segurança do processo.

No entanto, todo processo proposto como desafio neste projeto, foi cumprindo, atendendo todos os resultados, os objetivos foram alcançados e é necessário a continuidade deste processo, tanto no setor do Auxiliar de Laboratório como a análise das 14 atividades levantadas por parte do Comitê de ergonomia composto por especialistas como Ergonomista, Enfermeiro do Trabalho, Engenheiro de Segurança do Trabalho, Médico do Trabalho, Técnico de Enfermagem do Trabalho e Técnico de Segurança do Trabalho.

Recomendo que esta equipe siga este mesmo proposito para as demais atividades e que com toda certeza, a condição exposta como “Problema” não vai mais existir.

1. A técnica subjetiva, é recomendado que seja realizada a cada ano pois, os ambientes de trabalho são modificados devido a necessidade, aumento ou diminuição dos processos ou atividades.

2. O método RULA, deve se tornar um procedimento de análise preliminar das atividades consideradas “novas”, afim de antecipar os principais riscos ergonômicos e traçar de imediato as ações de contingenciamento.

3. A ginástica laboral, deve ser estendida para todos os cargos, visto que em todo ambiente, encontra-se riscos ergonômicos.

4. Deve tornar como rotina anual, a revisão das AET’s, procedimentos e instruções técnicas, afim de verificar que houveram modificações no método de execução do lay out e a condição não foi prevista nestas documentações.

5. Adaptar o equipamento exoesqueleto a cada realidade, fazendo uma mudança com análise, com cuidado observando cada característica do processo e do

ambiente. Vale ressaltar que, os exoesqueletos são de vários formatos, existe equipamento para cada atividade, este equipamento deve ser avaliado de acordo com o cenário verificado.

Neste caso, pode-se concluir que, "os efeitos da não aplicação dos conceitos ergonômicos nas empresas" é um fator que traz indicadores desfavoráveis, prejuízos produtivos e financeiros, porém, existe remédio eficaz, porém que requer um trabalho aprofundado de especialistas e participação e empenho de toda liderança da empresa.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Lesões por Esforços Repetitivos (LER) Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho. Ministério da Saúde. Brasília: 2002. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/ler_dort.pdf. Acesso em: 14/10/2022.

[2] BRASIL NEWS. Exoesqueleto da força de super-herói ao Homem. 2015. Divulgado em: https://www.n3w5.com.br/mundo/2015/07/exoesqueleto-da-forca-de-super-heroi-ao-homem. Acesso em: 14/10/2022

[3] CAMILA MELO. Exoesqueleto para trabalho na Construção Civil. 2018. Disponibilizado em: http://www.neomot.com/post/2018/07/12/exoesqueleto-para-constru%C3%A7%C3%A3o-civil. Acesso em: 14/10/22

[4] CORDEIRO, T. F. Análise ergonômica com a aplicação do método RULA: Estudo de caso em uma indústria no setor automotivo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2015. Disponível em: https://acervodigital.ufpr. br/handle/1884/43901. Acesso em:14/10/2022

[5] EKSO BIONICS. O líder em tecnologias, exoesqueleto. 2019. Disponível em: https://eksobionics.com/. Acesso em: 14/10/2022

[6] OLIVEIRA, A. F. Tudo que você precisa saber sobre segurança do trabalho. 2021. Disponível em: https://beecorp.com.br/seguranca-do-trabalho/#:~:text=Seguran% C3%A7a% 20do%20Trabalho%20(ST)%20%C3%A9,realizadas%20da%20melhor%20forma%20poss%C3%ADvel. Acesso em: 14/10/2022

[7] PORTARIA MTB N°3.214. Norma Regulamentadora (NR) 17 Ergonomia. 1978. Divulgado em: https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2021.pdf. Acesso em: 14/10/2022

[8] QUATRO RODAS. Conheça os exoesqueletos usados nas linhas de montagem. 2018. Disponível em: https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/conheca-os-exoesqueletos-usados-nas-linhas-de-montagem/. Acesso em: 14/10/2022

[9] REDAÇÃO AUTO ESPORTE. Funcionários da FORD testam Exoesqueleto em linha de produção. 2017. Disponível em: https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2017/12/funcionarios-da-ford-testam-exoesqueleto-em-linha-de-producao.ghtml. Acesso em: 14/10/2022

[10] SANTOS, F. G. Análise Ergonômica do Trabalho em uma panificadora: Um estudo de caso. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Seminário, Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção. Sumé (PB): 2019. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/12703/1/FABIANO%20GON%C3%87ALVES%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20ENG.%20DE%20PRODU%C3%87%C3%83O%20CDSA%202019.pdf. Acesso em: 23/10/2022

[11] SANTOS, FERNANDES, LIMA. Avaliação ergonômica de estações de trabalho informatizadas. X SIMPROD - Sustentabilidade e Meio Ambiente: 2018. Divulgado em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10420/2/AvaliacaoErgonomicaEstacoesTrabalho.pdf. Acesso em: 14/10/2022

[12] UNIVERSIDADE WASEDA. Exoesqueleto vestível reduz estresse físico na cintura e nos braços. 2018. Divulgado em: https://www.t4h.com.br/noticias/exoesqueleto-vestivel-reduz-estresse-fisico-na-cintura-e-nos-bracos/. Acesso em: 14/10/2022

[13] WELBER, L. G.; SALLES, L. M. M.; SAES, E. V. Análise Comparativa dos Métodos Ergonômicos para Estudos das Posturas Via Aplicação do Software Ergolânica: um estudo de caso em uma joalheria. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Maceio, 2018. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_261_499_35036.pdf. Acesso em: 23/10/2022

Capítulo 12

Conhecimento sobre descartes de resíduos eletroeletrônicos

Vinícius Cruz Benjamin
Jussara Fernandes Leite
Grace Marisa Miranda de Paula
Fernando de Souza Santana
Bruno Silva Alencar

Resumo: O resíduo eletroeletrônico contribui diretamente com os impactos ambientais e a perda de saúde das pessoas. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo identificar o nível de conhecimento da população da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos. Esta pesquisa tem natureza bibliográfica e exploratória. Foi desenvolvido por meio da aplicação de um questionário constituído de sete perguntas fechadas e uma aberta. Como o desenvolvimento foi identificado que 97,5% da amostra não tem conhecimento total sobre descarte de produtos eletroeletrônicos, estando em nível abaixo ou igual a 6, que se referem aos níveis que não têm conhecimento total sobre o assunto. Com tudo, recomenda-se que aos governantes aplicar leis mais severa e fiscalização mais efetiva para minimizar ou evitar o descarte irregular de resíduos eletroeletrônicos, como também a promoção de campanha de conscientização da sociedade perante ao adequado descarte de resíduo eletroeletrônico.

Palavras-chave: Descarte. Resíduo. Eletroeletrônico. Saúde. Meio Ambiente

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, mesmo devido à tanta informação parece inoperante aos indivíduos, ou seja, muitas pessoas insistem com atitudes errôneas. Atitudes corretas, apesar de simples podem colaborar para o correto destino do mesmo, seja por meio de reciclagem, reutilização ou logística reversa promovendo a restauração do meio ambiente devolvendo o que é de direito.

O resíduo eletroeletrônico contribui diretamente com os impactos ambientais e a perda de saúde das pessoas. Os eletrônicos não são biodegradáveis, permanecem por dezenas e até centenas de anos no meio ambiente. Onde há presença de metais nobres passíveis de reaproveitamento como ouro, prata, cobre e estanho. Por apresentarem alto índice de metais pesados, uma vez em contato com o meio ambiente, podem se alastrar contaminando solos e disseminando enfermidades.

Por esse motivo, tem-se a necessidade de os consumidores terem conhecimento sobre os riscos que os eletrônicos representam à saúde e ao meio ambiente quando não há o direcionamento correto ao fim de sua vida útil. Assim os resíduos eletroeletrônicos requerem um destino especial que respeite o meio ambiente e também contribua para a obtenção de uma logística sustentável tanto para as empresas quanto para o consumidor.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo de identificar o nível de conhecimento da população da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos.

2. FASES DE EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

Leão (2014) apresenta a história da tecnologia de forma mais dinâmica, mostra a característica com ricos detalhes sobre a Tecnologia e esclarece que a origem da Tecnologia se deu na Revolução Industrial, adentrando aspectos que visem elucidar cada conquista desde o século XVIII.

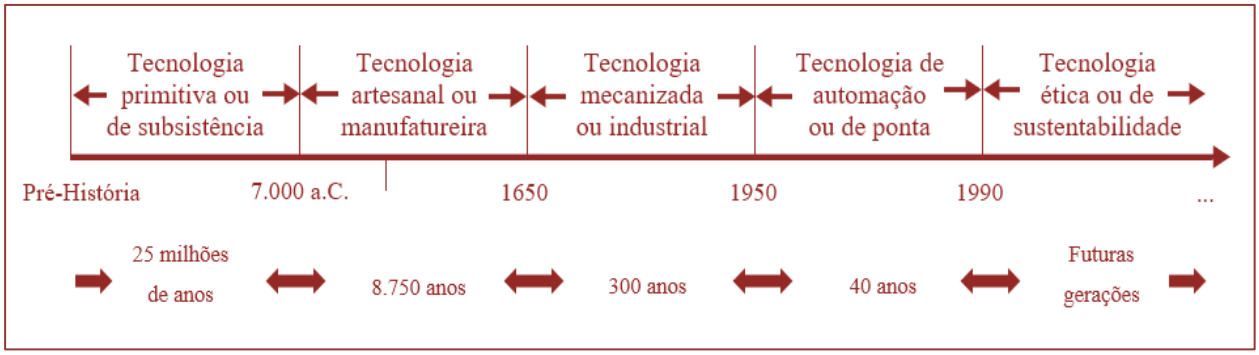
De acordo com Leão (2014), a tecnologia é algo que advém de um período importantíssimo e assim apresenta uma visão de que

> a tecnologia [...], tem papel preponderante nos processos produtivos advém de um período muito importante que é a Revolução Industrial, é nesta época que a mão de obra começou a ser substituída por máquinas, equipamentos, invenções, etc., sendo assim é também neste período que a tecnologia começa a ter papel crucial nas formas de produção, fazendo com que surgisse consequentemente as grandes fábricas e indústrias.[...] (LEÃO, 2014).

Na mesma linha de pensamento, Hayne, Et.al (2018) afirma que Veraszto (2004) apresenta em seus estudos que [...] por meio da evolução histórica das técnicas, “se pode compreender de que forma, conjuntamente, homem e tecnologia agem ativamente objetivando o progresso”.

Hayne (2018) explica que a história da tecnologia pode ser dividida em fases. Essas fases, segundo esse autor, podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Fases da evolução da tecnologia.



Fonte: Hayne (2018).

Observa-se na Figura 1, conforme Hayne (2018), que a tecnologia passa por cinco fases: primitiva ou de subsistência, artesanal ou manufatureira, mecanizada ou industrial, automação ou de ponta e ética ou de sustentabilidade.

2.1. CONCEITOS DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Os Resíduos Eletroeletrônicos, para Sant'Anna (2011), têm consideráveis definições que podem ser definidos à medida que os anos passam e para os indivíduos equivale a diversificadas assinaturas populares:

> [...], os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, também denominados Resíduos Eletroeletrônicos (REEs), Resíduos Tecnológicos, e-resíduos ou popularmente lixo eletrônico. "Lixo eletrônico é o nome dado aos resíduos da rápida obsolescência de equipamentos eletrônicos, que incluem computadores e eletrodomésticos, entre outros dispositivos. Tais resíduos, descartados em lixões, constituem se num sério risco para o meio ambiente, pois possuem em sua composição metais pesados altamente tóxicos, como mercúrio, cádmio, berílio e chumbo. Em contato com o solo estes metais contaminam o lençol freático e, se queimados, poluem o ar além de prejudicar a saúde dos catadores que sobrevivem da venda de materiais coletados em lixões." (GUERIN, 2008, p.1 citado por (SANT'ANNA, 2011).

O Quadro 1, apresentado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mostra os elementos perigosos que contêm nos resíduos eletroeletrônicos, como também onde são utilizados e os impactos que causam na saúde das pessoas. Esse Quadro 1 pode ser verificado a seguir.

Quadro 1: Elementos Tóxicos

Elementos Perigosos	Onde é utilizado	Impactos na saúde
Chumbo	Computador, celular, televisão	Causa danos ao sistema nervoso e sanguíneo
Mercúrio	Computador, monitor e TV tela plana	Causa danos cerebrais e ao fígado
Cádmio	Computador e bateria de notebooks	Causa danos aos ossos, rins e pulmões
Arsênio	Celular	Causa doenças de pele, prejudica o sistema nervoso e pode causar câncer no pulmão
Berílio	Computador e celular	Causa câncer no pulmão

Fonte: UFSC (2022)

Conforme pode-se observar no Quadro 1, os elementos chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio e berílio podem causar diversos impactos à saúde das pessoas, caso o descarte de diversos aparelhos eletrônicos como celular, computadores, televisão, dentre outros forem feitos de forma irregular. Esses produtos são utilizados pela maioria da população do mundo.

Sant´Anna (2011) apontou que o homem tem alterado a biodiversidade nos últimos anos a cada dez décadas, sem reconstituir o que dela é extraído, dessa maneira o ciclo não se regenera por causa da exploração de minério que é um dos pontos que tiveram um aumento significativo da geração de resíduos. Barbieri (2007) citado por Sant'Anna (2011) esclarece que [...] muito maior do que a capacidade de renovação da natureza, causando o que se vê tão nitidamente nos dias de hoje que é a perda da biodiversidade, alterações climáticas, águas contaminadas, processos de desertificação e vários outros efeitos ambientais.

Além disso, Sant'Anna informa ainda os principais elementos dos componentes presentes nos diversos resíduos eletrônicos bem como a quantidade de cada um no total de resíduos. Essas informações podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2: Elementos dos Componentes dos Resíduos Eletrônicos

Componente	Porcentagem (%)
Ferro	Entre 35 e 40
Cobre	17
Fibras e plásticos	15
Alumínio	7
Papel e embalagem	5
Zinco	Entre 4 e 5
Resíduos não recicláveis	Entre 3 e 5
Chumbo	Entre 2 e 3
Ouro	0,0002 a 0,0003
Prata	0,0003 a 0,001
Platina	0,00003 a 0,00007

Fonte: Sant'Anna (2011)

Por meio do Quadro 2, Sant'Anna informa que os elementos que constituem os componentes de produtos eletrônicos são: ferro, cobre, fibras e plásticos, alumínio, papel e embalagem, zinco, resíduos não recicláveis, chumbo, ouro, prata e platina. Esse autor explica que esses elementos são considerados substâncias tóxicas, que causam danos a natureza e suas características nos equipamentos eletrônicos. No Quadro 3, pode-se observar os danos que esses elementos podem causar à saúde das pessoas e ao meio ambiente.

Quadro 3: Danos à Saúde das Pessoas e ao Meio Ambiente

Metais	Danos potenciais à saúde humana	Danos potenciais ao meio ambiente	Aplicações nos equipamentos eletrônicos
Retardadores de chama bromados	Cancerígenos e neurotóxicos: Podem interferir na função reprodutora.	Podem ser solúveis em água, voláteis, bioacumulativos e persistentes. Em incineradores geram dioxinas e furanos.	Computadores e televisores
Cádmio	Possíveis efeitos irreversíveis nos rins e podem provocar câncer e desmineralização óssea; manifestações digestivas (náusea, vômito, diarreia); problemas pulmonares; envenenamento (quando ingerido); pneumonite (quando inalado).	Bioacumulativos, persistente e tóxico para o meio ambiente.	Resistores, detectores de infravermelho, semicondutores e nas versões mais antigas de raios catódicos.
Cromo	Provocam reações alérgicas em contato com a pele, é cáustico e genotóxico.	Absorção celular muito fácil pelas plantas e animais dos efeitos tóxicos.	
Chumbo	Danos no sistema nervoso, endócrino, cardiovascular e rins; dores abdominais (cólica, espasmo e rigidez); disfunção renal; anemia; problemas pulmonares; neurite periférica (paralisia); encefalopatia (sonolência, manias, delírio, convulsões e coma).	Acumulação no ecossistema, efeitos tóxicos na flora, fauna e microrganismos.	Soldas nos circuitos impressos e outros componentes e tubos de raios catódicos nos monitores e televisores.
Mercúrio	Possíveis danos cerebrais e cumulativos e podem passar para o feto. Gengivite, salivação, diarreia (com sangramento); dores abdominais (especialmente epigástrico, vômitos, gosto metálico); congestão, inapetência, indigestão; dermatite e elevação da pressão arterial; estomatites (inflamação da mucosa da boca), ulceração da faringe e do esôfago, lesões renais e no tubo digestivo; insônia, dores de cabeça, colapso, delírio, convulsões.	Pode tornar-se solúvel em água; acumula-se nos organismos vivos.	Termostatos, sensores de posição, chaves, relés e lâmpadas descartáveis, equipamentos médicos, transmissão de dados, telecomunicações e telefones celulares, baterias, interruptores de residências e placas de circuito impresso.
Bário	Inchaço do cérebro, fraqueza muscular, danos no coração, fígado e no baço.		Painel frontal do CRT.
Cobre	Pode gerar cirrose hepática.		Presente em vários componentes eletrônicos.

Fonte: Sant'Anna (2011)

Conforme pode-se verificar no Quadro 3, vários são os danos às pessoas e ao meio ambiente que podem causar os elementos que constituem os componentes dos mais populares aparelhos eletrônicos utilizados pelas pessoas. Assim, a necessidade de descartar corretamente os resíduos eletrônicos é crucial para evitar prejuízo às pessoas e ao meio ambiente.

Nessa abordagem, Siqueira (2012) advoga que o descarte incorreto dos resíduos eletrônicos é um grande problema em áreas urbanas.

> Um dos principais problemas ambientais com que se defrontam as grandes cidades está relacionado ao tratamento e à disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos. O volume crescente e a composição cada vez mais diversificada dos resíduos gerados nos centros urbanos, aliados ao aumento da escassez de áreas para a implantação de novos aterros, representam um risco para o meio ambiente e para a saúde humana, se constituindo num grande desafio para a administração pública que deve buscar alternativas para a minimização do problema (BORSOI, 2002 citado por SIQUEIRA, 2012)

2.2. TENDÊNCIA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Segundo o relatório publicado pela Organização das Nações Unidas, a geração global de lixo eletrônico cresce a uma taxa próxima de 40 milhões de toneladas por ano (UNEP, 2009 citado por SIQUEIRA 2012). Isso ocorre devido ao alto desempenho da indústria de eletroeletrônicos, que vem sendo impulsionada pelo processo de inovação tecnológica e pela expansão crescente do mercado, bem como pelo desenvolvimento de produtos com vida útil cada vez menor. (PARLAMENTO EUROPEU, 2000 citado por SIQUEIRA 2012).

Com base em pesquisas Forti (2019), da Revista Panorama Setorial da Internet, afirma que segundo as estimativas, 2020 teve a quantidade de lixo eletrônico que excedeu a 50 Mt, com uma taxa de crescimento anual de 3 a 4%.

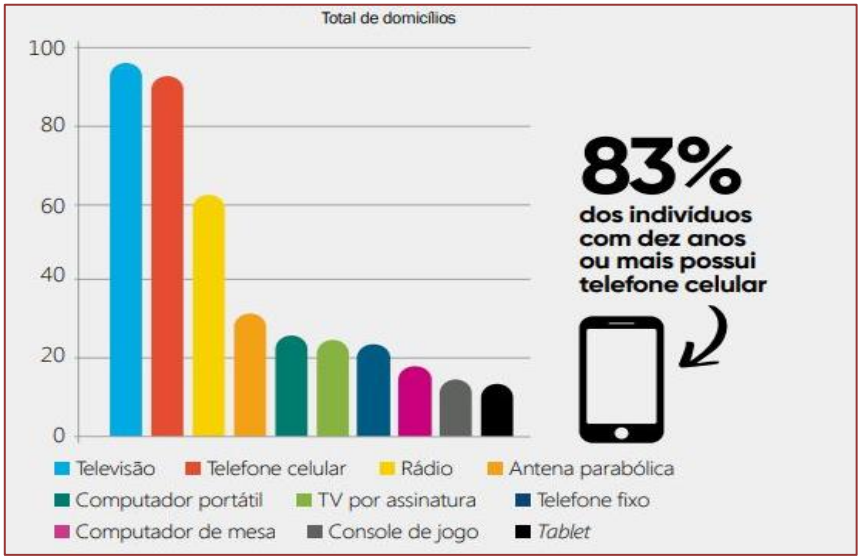
Forti (2019) ressalta que as estimativas da Universidade das Nações Unidas (UNU) mostram que o consumo de Eletroeletrônicos aumentou rapidamente nos últimos anos. Tal aumento acontece com mais velocidade (taxa de crescimento de até 23% ao ano) nos países de baixa e média renda, e não nos de alta renda. Esse rápido aumento é explicado pelo fato de que a sociedade da informação está crescendo em grande velocidade no mundo.

O crescimento da sociedade da informação ocorreu devido às redes e aos serviços de telefonia móvel e de banda larga que se expandiram rapidamente, permitindo que mais pessoas, em especial nas áreas rurais, tenham acesso à Internet. O mundo conta agora com mais de 7,7 bilhões de assinaturas de telefone celular, o que corresponde à atual população mundial. Mais de 54% dos domicílios têm acesso à Internet. Essa crescente disponibilidade leva ao aumento da demanda por Eletroeletrônicos capazes de se conectarem à Internet. Além disso, hoje os Eletroeletrônicos são usados em aplicativos de alta tecnologia relacionados aos conceitos de *smart houses* (casa inteligente) e *smart cities* (cidade inteligente). (FORTI, 2019).

Forti (2019) ainda explica que embora sejam cruciais para melhorar os padrões de vida e criar um ambiente sustentável, tais conceitos inovadores exigem tecnologias digitais e de informação eficiente e de ponta.

Nesse contexto, pode-se verificar no Gráfico 1 o percentual de domicílios que possuem equipamentos de tecnologia de informação e comunicação (TIC) no Brasil em 2018, segundo pesquisa da NIC.br (2019) citado por Forti (2019).

Gráfico 1: Domicílios que Possuem Equipamento TIC.



Fonte: NIC.br (2019) citado por Forti (2019)

Conforme pode-se observar no Gráfico 1, televisão e telefone celular são os produtos eletroeletrônicos mais adquiridos pela população brasileira. Vale ressaltar, de acordo com as informações do Gráfico 1, que 83% dos indivíduos com dez anos ou mais possuem telefone celular. Desta forma, devido à grande demanda desses produtos, eles ao perder sua utilidade se tornam resíduos eletroeletrônicos.

2.3. LEI BRASILEIRA CHAMADA "RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA" DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nessa lei é apontado o objetivo da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Conforme pode ser verificada a seguir.

> **[...] Seção II**
>
> **Da Responsabilidade Compartilhada**
>
> Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos

> sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.
>
> Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:
>
> I - Compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;
>
> II - Promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;
>
> III - Reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;
>
> IV - Incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;
>
> V - Estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;
>
> VI - Propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;
>
> VII - Incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental. [...] (BRASIL, 2010)

Sinnott (2012) afirma a importância da Lei de A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº. 12.305 como um "marco regulatório" traz novas alternativas para a destinação adequada dos insumos, considerando o bem-estar social e, ao mesmo tempo, a sustentabilidade sob os pontos de vista ambiental, social e econômico.

Então, estabelecida no resguardo da "Precaução" essa última autora esclarece que a proteção do meio ambiente está situada como no Princípio nº 15 da Declaração do Rio de Janeiro que deverá ser amplamente observada pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental.

2.4. RECICLAGEM DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Forti (2019) apresenta em seus estudos que a legislação sobre lixo eletrônico é mais avançada na Europa, onde as quantidades coletadas e recicladas do material também são maiores do que em vários outros países do mundo. Além disso, essa autora informa que há regiões com reciclagem e coleta de lixo eletrônico desenvolvidas na América do Norte, Leste e Sul da Ásia. Por outro lado, a autoria cita que em diversos países, porém, inexiste uma legislação nacional sobre o tema, como em grande parte da África, Caribe, Ásia Central e Oriental, Melanésia, Polinésia e Micronésia.

Vale ressaltar que nem sempre a legislação se traduz em ações concretas, assim como a relação dos produtos cobertos pelas leis de lixo eletrônico pode diferir do escopo

mais abrangente da lista internacional de produtos (FORTI, BALDÉ & KUEHR, 2018 citado por FORTI, 2019)

Forti (2019) advoga que as políticas devem apontar para o uso mais eficiente dos recursos, a fim de melhorar os processos de produção, como também para a recuperação de materiais valiosos presentes nos elementos dos eletroeletrônicos tais como ouro, prata, cobre, paládio, ferro e alumínio. Sobre esse assunto a autora completa que em 2016, o sistema oficial registrou a coleta e a reciclagem formais de pelo menos 8,9 Mt de lixo eletrônico, o que corresponde a apenas 20% do lixo eletrônico gerado naquele ano.

2.5. LOGÍSTICA REVERSA DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Segundo Mendonça et al. (2017) citado por Sanches (2018), a logística reversa visa o manejo e o gerenciamento de equipamentos pós-consumo tendo a reciclagem como forma de recuperar seus materiais. Além disso, tem como vantagem a contribuição à sociedade e ao meio ambiente. Exemplificado pelo retorno dos resíduos às empresas de manufatura, evitando negativos impactos ambientais e estabelecendo reduções de custos nos processos produtivos, por conta inclusive da redução do consumo da matéria-prima.

Em sequência, Sanches (2018) explica, conforme a Lei 12.305 no artigo 9°. XV – Rejeitos, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possiblidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Sanches (2018) cita que o Decreto 9711 do artigo 33 da Lei12305/2010, que evidencia o avanço com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Segundo esse autor

> No final de outubro de 2017, foi assinado o Decreto 9711 que regulamenta o artigo 33° da Lei 12305/2010 e complementa os artigos 16° e 17° do Decreto 7404/2010 e dá outras providências. Evidencia-se um grande avanço a partir desse Decreto, uma vez que efetiva a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no que tange principalmente a importância da destinação ambientalmente adequada dos resíduos, visando também o fomento da concorrência ética e de práticas de responsabilidades socioambientais. 20 Conforme Art. 1° do Decreto 9177/2017, estabelece-se: (...) normas para assegurar a isonomia na fiscalização e no cumprimento das obrigações imputadas aos fabricantes, aos importadores, aos distribuidores e aos comerciantes de produtos, seus resíduos e suas embalagens sujeitos à logística reversa obrigatória (BRASIL, 2017 citado por SANCHES, 2018).

Em outra abordagem, segundo Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI,2013) apresenta o conceito de equipamentos eletroeletrônicos, que são todos aqueles produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. Esclarece que as cores ajudam a identificar a classe que pertence a cada equipamento eletroeletrônico. Eles podem ser divididos em quatro categorias amplas:

» **Linha Branca:** refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar;

» **Linha Marrom:** monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras;

» **Linha Azul:** batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras;

» **Linha Verde:** computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares.

Por fim, a ABDI (213) cita que ao fim da vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos, esses produtos passam a ser considerados resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REE). Idealmente, só chegam a esse ponto uma vez esgotadas todas as possibilidades de reparo, atualização ou reuso. Alguns deles, notadamente os equipamentos de telecomunicações, têm um ciclo de obsolescência mais curto. Em outras palavras, devido à introdução de novas tecnologias ou à indisponibilidade de peças de reposição, eles são substituídos e, portanto, descartados mais rapidamente.

3. O ESTUDO DE CASO

Esta pesquisa é um estudo de campo, realizado com a população da Região do Alto Paraopeba de Minas Gerais, com o objetivo de identificar o nível de conhecimento da população da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos. O estudo ocorreu no período de fevereiro a outubro de 2022.

Em continuidade, esta pesquisa tem natureza bibliográfica e exploratória. O estudo bibliográfico abordou o tema resíduos eletroeletrônico, enfatizando a evolução da tecnologia, o conceito e os elementos que os constituem os componentes dos equipamentos eletroeletrônico, como também a tendência de resíduos eletroeletrônicos e as legislações aplicadas no Brasil.

Para realização desta pesquisa, um questionário constituído de oito perguntas, sendo sete fechadas e uma aberta foi elaborado. As perguntas foram divididas em duas categorias de análise: perfil da amostra e resíduos eletro eletrônicos. Ele foi desenvolvido com o auxílio do sistema Google Forms.

O questionário além de buscar identificar o perfil das pessoas que constituíram a amostra, também buscou identificar o nível de conhecimento da população referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos pela população de Conselheiro Lafaiete. Nessa parte da pesquisa, houve um cunho exploratório para atingir o objetivo da pesquisa.

A população da pesquisa foi constituída das pessoas que residentes em cidades da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais. A escolha da amostra se deu pelo critério de acessibilidade. Critério de seleção de amostra não probabilístico. Assim, o questionário foi encaminhado a todas as pessoas que o autor da pesquisa teve acesso no período de 15 a 30 de setembro de 2022. Nesse processo a amostra foi constituída de 80 pessoas que responderam ao questionário.

Os dados têm característica quantitativa, foram tratados por meio de estatística descritiva e apresentado por meio de gráfico para melhor compreensão.

Nesse sentido, esta pesquisa também é classificada como pesquisa quantitativa.

3.1. DISCUSSÕES E RESULTADOS

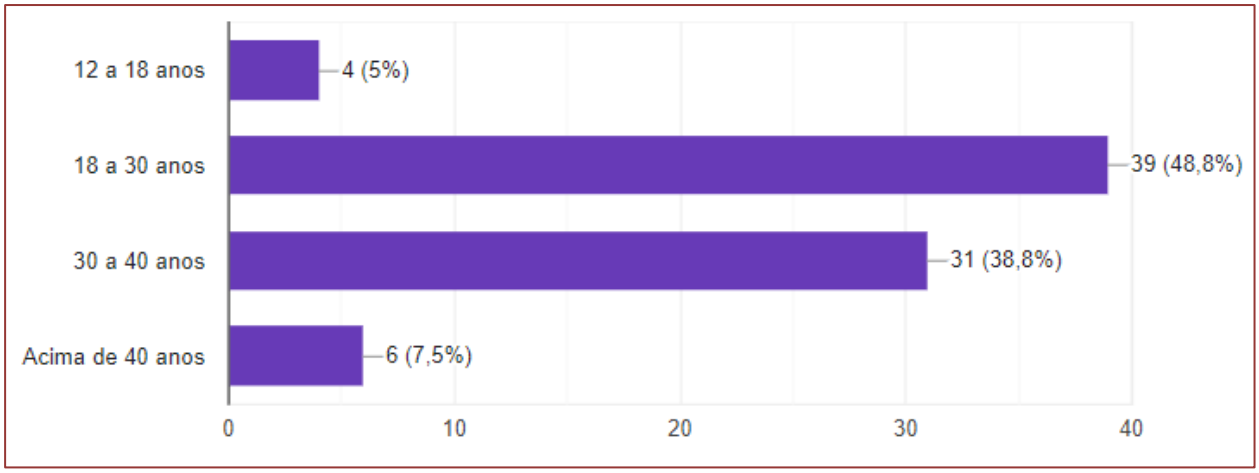
Neste item, é apresentado o resultado das perguntas do questionário que foi respondido por 80 pessoas que residentes em cidades da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais.

3.1.1. PERFIL DA AMOSTRA

As questões 1, 2 e 3 do questionários buscou identificar o perfil da amostra. Os resultados sobre essas perguntas são apresentados a seguir.

A primeira pergunta buscou identificar a faixa etária das pessoas que compõem a amostra. Os resultados sobre essa questão podem ser observados a seguir no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Faixa etária da amostra.

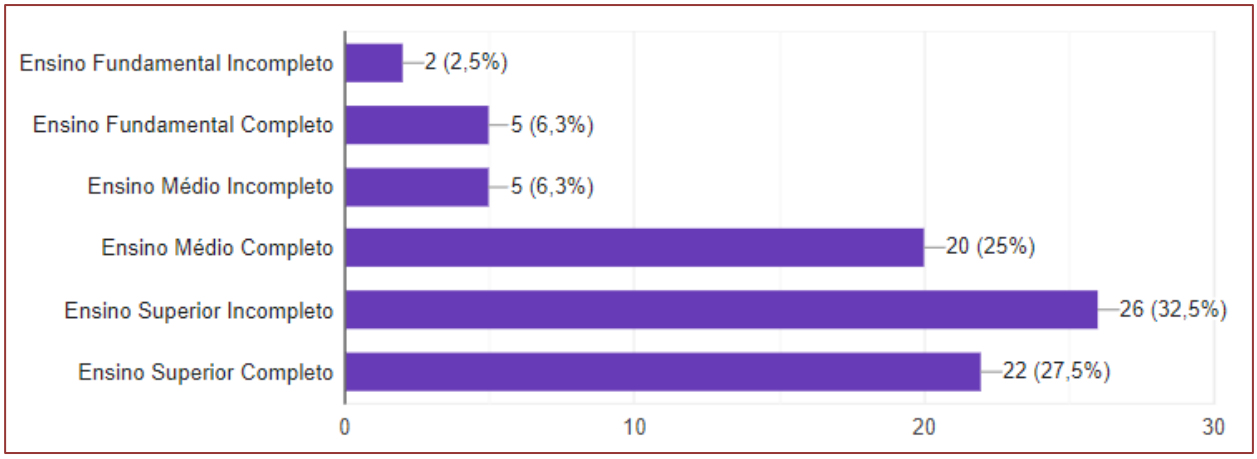


Fonte dados da pesquisa (2022)

Conforme pode observar no Gráfico 1, das 80 pessoas que responderam a pesquisa 48,8% tem de 18 a 30 anos e 38,8% tem de 30 a 40 anos. Assim pode-se afirmar que 87,6% dos respondentes têm de 18 a 40 anos, isto é a grande maioria.

A segunda pergunta abordou o grau de escolaridade dos 80 respondes da pesquisa. O Gráfico 2 apresenta os resultados dessa pergunta.

Gráfico 2 – Nível de Escolaridade.

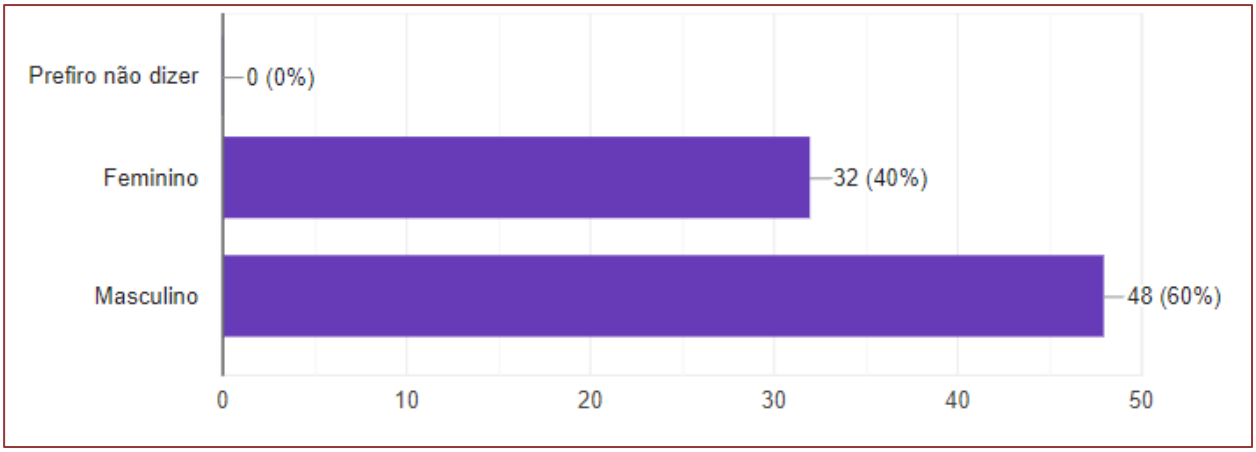


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Verifica-se no Gráfico 2 que 32,5% da amostra tem ensino superior incompleto, 27,5% possui ensino superior completo, 25,0% está com o ensino médio completo, 6,3 % ensino médio incompleto, 6,3% ensino fundamento completo, 2,5 não tem ensino fundamental completo. Assim, é identificado nesta pesquisa que a grande maioria das pessoas que constituem a amostra iniciaram ou concluíram o ensino superior, ou terminaram o ensino médio, obtendo um percentual de 85%.

Na terceira questão, a pesquisa buscou identificar o gênero das pessoas que constituíram a amostra. As respostas a essa questão foram consolidadas e seu resultado pode ser verificado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Gênero dos respondentes ao questionário.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O Gráfico 3 apresenta que 48 pessoas, que representam 60% da amostra, são do sexo masculino e 32, que representam 40% são do sexo feminino. Como esses resultados pode-se afirmar que mais de 50% das pessoas que constituem a amostra são do sexo masculino.

3.1.2. RESÍDUO ELETRO ELETRÔNICO

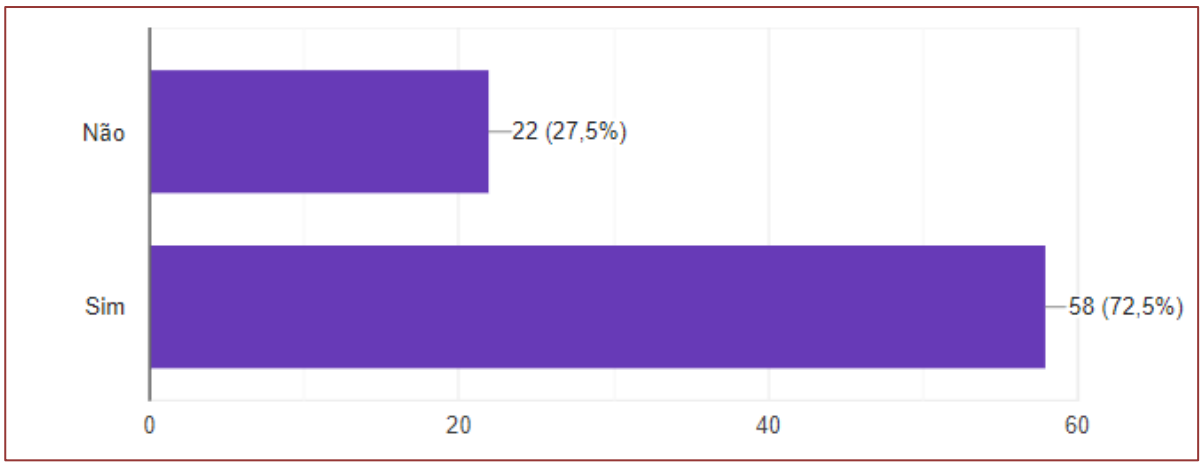
A pergunta 4 do questionário, foi a primeira questão da categoria resíduo eletro eletrônico. Por meio dessa pergunta, a pesquisa buscou identificar se as pessoas que constituem a amostra sabem o que é resíduo eletro eletrônico.

Essa questão baseou-se no entendimento de Resíduo eletroeletrônicos, apresentado Sant'Anna (2011), que informa em seus estudos que resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, também denominados Resíduos Eletroeletrônicos (REEs), Resíduos Tecnológicos, e-resíduos ou popularmente lixo eletrônico. Lixo eletrônico é o nome dado aos resíduos da rápida obsolescência de equipamentos eletrônicos, que incluem computadores e eletrodomésticos, entre outros dispositivos.

Ao analisar as respostas dadas pelos respondentes da pergunta 4, obtemos que 18 pessoas (22,5% da amostra) não sabem ou informaram errado o que é resíduo eletrônico. Por outro lado, 77,5% responderam corretamente à pergunta.

Na pergunta 5, a pesquisa buscou identificar se os respondentes do questionário já ouviram falar sobre o descarte correto de resíduo eletroeletrônico. O Gráfico 4 mostra os resultados sobre essa questão.

Gráfico 4 – Conhecimento sobre Descarte correto de Resíduo Eletroeletrônico.

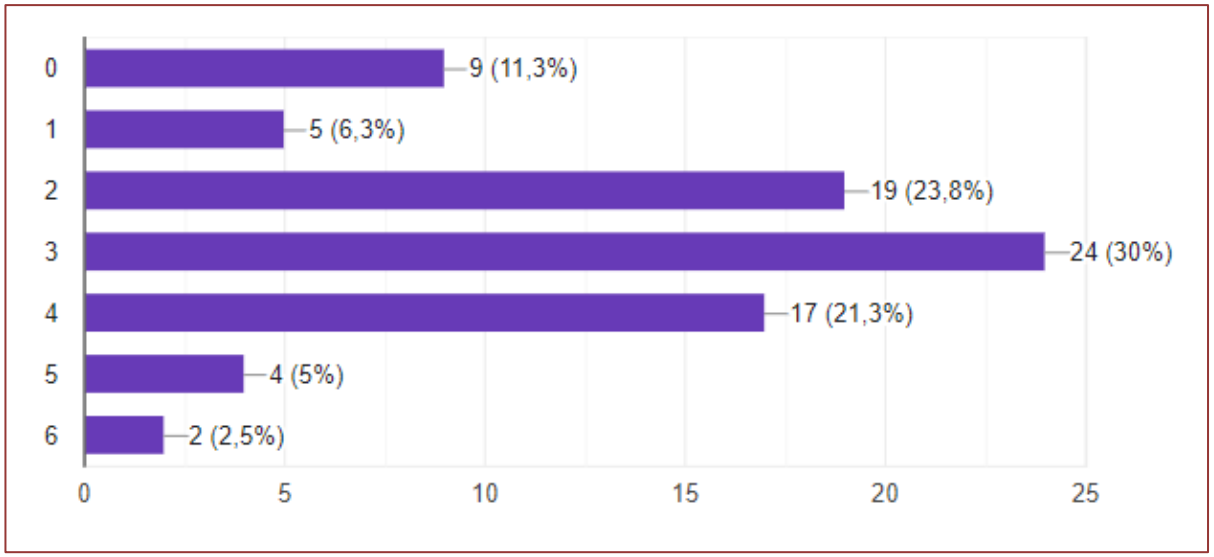


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

De acordo com os dados apresentados no Gráfico 4, identifica-se que 58 pessoas, que corresponde a 72,5% da amostra, já ouviram falar sobre o descarte correto de resíduo eletroeletrônico. Por conseguinte, 27,5% da amostra responderam que não ouviram falar sobre o descarte correto de resíduo eletroeletrônico.

A pergunta 6 abordou o tema central deste estudo, que é o nível de conhecimento referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos. Para essa questão, foi utilizado uma escala denominada de LiKert com 7 níveis de conhecimento, variando 0 a 6. O resultado dessa questão pode ser observado no Gráfico 5.

Gráfico 5- Nível de Conhecimento de Descarte de Produtos Eletroeletrônicos.



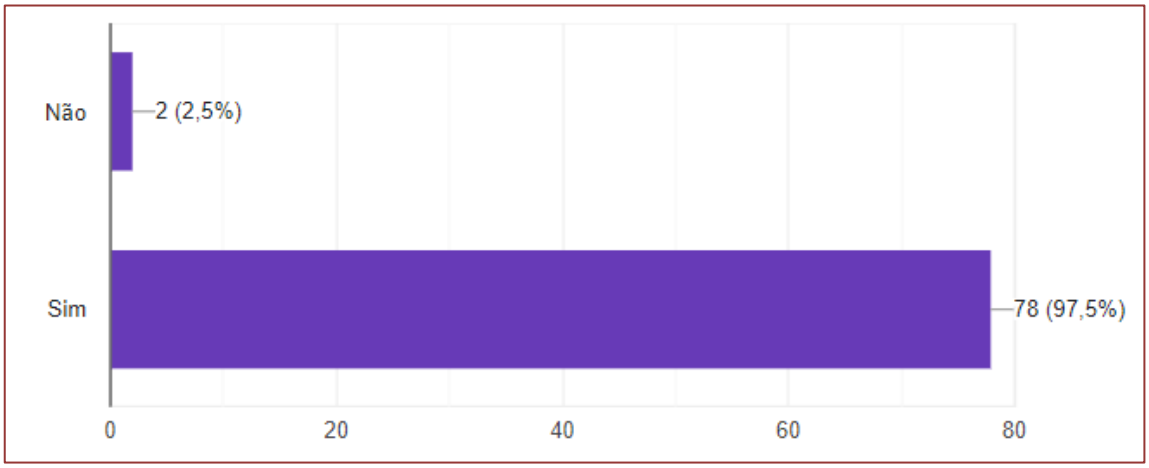
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A medição dos níveis de conhecimento sobre descarte de produtos eletroeletrônicos pela escala likert permite considerar um ponto neutro sendo o 3; um lado inferior, níveis de 0 a 2, que refere-se à nenhum ou pouco conhecimento sobre descarte de produtos eletroeletrônicos; e um lado superior, níveis 4 a 6, que se pode considerar que há algum conhecimento ou conhecimento. Baseado nessa abordagem, pode-se afirmar que 41,4% das pessoas que constituem a mostra não tem nenhum ou pouco conhecimento; 28,8 há algum conhecimento ou conhecimento; e que 30% apontaram o nível 3 que se refere a um mediano conhecimento.

Ainda ao analisar o Gráfico 5, é identificado que 11,3% marcaram o nível 0, ou seja, nove dos respondentes do questionário informaram que não tem nenhum conhecimento; e que 2,5%, dois respondentes, apenas apontaram o nível 6, que se refere a conhecimento sobre descarte de produtos eletroeletrônicos. Desta forma, pode-se concluir que 97,5% da amostra não tem conhecimento total sobre descarte de produtos eletroeletrônicos, o que pode levar a descartes incorretos dos produtos eletroeletrônico, que consequentemente pode procurar danos à saúde das pessoas e ao meio ambiente.

Na 7 pergunta, a pesquisa buscou identificar se é importante as empresas serem obrigadas a recolher resíduos eletroeletrônicos. O Gráfico 6 apresenta os resultados desta questão.

Gráfico 6 – Obrigação das empresas em recolherem os resíduos eletroeletrônicos.

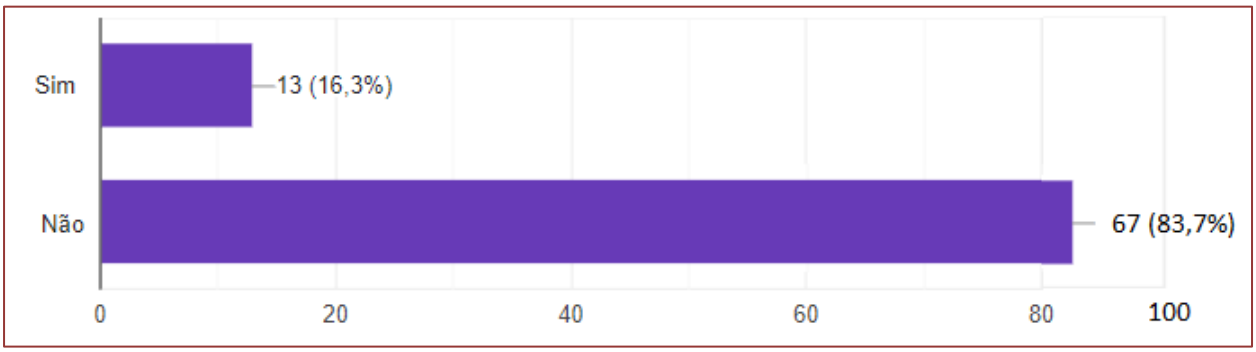


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Sobre o assunto abordado na pergunta 7, o gráfico 6 mostra que 97,5%, isto é 78% dos respondentes do questionário, apontaram que as empresas devem ser obrigadas a recolher resíduos eletroeletrônicos. Assim, pode-se ressalta que o governo deve criar leis mais severas e fiscalização mais efetiva para que as empresas recolham os resíduos eletroeletrônicos.

Em sequência, a pesquisa buscou verificar se na cidade onde residem os respondentes do questionário há pontos de descarte de resíduo eletrônico. Esse assunto foi abordado na pergunta 8 e as respostas a essa questão pode ser observada no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Existência de pontos de descarte de resíduo eletroeletrônico.



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Observa-se no Gráfico 7 que 83,3% dos respondentes informaram que não há pontos de descarte de resíduo eletroeletrônicos em sua cidade. Isso é um fator agravante, pois a falta de locais para recolhimento de resíduo eletroeletrônico leva ao descarte irregular.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, com o desenvolvimento desta pesquisa, vou verificado que a maioria das pessoas que constituíram a amostra são do sexo masculino, tem idade entre 18 a 40 anos e iniciaram ou concluíram o ensino superior, ou terminaram o ensino médio.

Em relação ao objetivo da pesquisa que identificar o nível de conhecimento da população da Região do Alto Paraopeba em Minas Gerais referente ao descarte de produtos eletroeletrônicos, foi obtido que 97,5% da amostra não tem conhecimento total sobre descarte de produtos eletroeletrônicos, o que pode levar a descartes incorretos dos produtos eletroeletrônico, que consequentemente pode procurar danos à saúde das pessoas e ao meio ambiente. Desta forma, estando a maioria dos respondentes em nível abaixo ou igual a 6, que se referem aos níveis que não têm conhecimento total sobre o assunto.

Outro fator a destacar com os resultados desta pesquisa é que 83,3% dos respondentes informaram que não há pontos de descarte de resíduo eletroeletrônicos em sua cidade. Número que releve um ponto agravante para a sociedade e meio ambiente, pois a falta de locais para recolhimento de resíduo eletroeletrônico leva ao descarte irregular, que provoca dano ao meio ambiente, como também a saúde das pessoas.

Por fim, recomenda-se que aos governantes aplicar leis mais severa e fiscalização mais efetiva para minimizar ou evitar o descarte irregular de resíduos eletroeletrônicos. Outras medidas recomendas é a realização campanha de conscientização da sociedade perante ao adequado descarte de resíduo eletroeletrônico. Isso para que possamos manter nosso mundo mais limpo, preservado e seguro para nós e para gerações futuras.

REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos Análise de Viabilidade Técnica e Econômica. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI-2013

[2] BRASIL. Lei Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso: 17 de maio de 2022 às 11he30min.

[3] FORTI, Vanessa. O crescimento do lixo eletrônico e suas implicações globais. Panorama setorial da Internet. Número 4. dezembro. Ano 11.2019.

[4] HAYNE, Luiz Augusto.Et.al. Análise da evolução da tecnologia: uma contribuição para o ensino da ciência e tecnologia. R. bras. Ens. Ci. Tecnol., Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 41, set./dez. 2018.

[5] LEAO, Wandick. Como surgiu a tecnologia? 2014. Disponível: https://administradores.com.br/artigos/como-surgiu-a-tecnologia. Acesso em 08 de Maio de 2022 às 09he30min

[6] SANCHES, Bruna Barbi. Desafios da Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos e suas implicações na logística reversa. São Paulo.2018.

[7] SANT'ANNA B. R. Y. Natume a, F. S. P. Resíduos Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos. "CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD" São Paulo – Brazil – May 18th-20ndth – 2011.

[8] SINNOTT, Alice Pereira. A aplicabilidade da Lei nº. 12.305/10 sob o viés do princípio da responsabilidade compartilhada. PUCRS.2012.

[9] SIQUEIRA, Valdilene S. Et.al Gestão e Descarte de Resíduos Eletrônicos em Belo Horizonte: algumas considerações caminhos de geografia. Revista on line http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/ ISSN 1678-6343. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 13, n. 43 out/2012 p. 175–187).

[10] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. O que são resíduos eletroeletrônicos. 2022. Disponível em: https://gestaoderesiduos.ufsc.br/residuos-eletroeletronicos/. Acesso em 09 de maio de 2022 às 13he30min.

Autores

Discentes & Docentes

Autores Discentes

Alexandre do Carmo Pinto

Bacharel em Engenharia Mecânica pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Pós-graduado em Engenharia de Confiabilidade e Gestão de Ativos pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Técnico e Mecânica pela Escola Técnica Objetivo. Atualmente é Engenheiro de Confiabilidade na empresa Ausenco atuando no desenvolvimento de projetos de confiabilidade e otimização de ativos. Possui mais de 18 anos de experiência em Engenharia de Manutenção na Indústria da Mineração.

Ana Cristina Corrêa Freitas - Engenheira de Produção

Bacharel em Engenharia de Produção pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Técnico em Logística (IFMG) e Técnica em Administração (COOPPED). Experiência profissional de 11 anos na área de logística e suprimentos na qual se mantem até momento.

Anderson Lopes Ramalho da Silva – Engenheiro Mecânico

Bacharel em Engenharia Mecânica pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete e Técnico em Mecânica pela Escola Municipal Os Padres do Trabalho. Tem 10 anos de experiência profissional na área de manutenção siderurgia, sendo 7 anos na área de PCM (Programação e controle de manutenção).

Arthur da Silva Fernandes – Engenheiro de Produção

Bacharel em Engenharia de Produção pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Técnico em Mineração (colégio Arquidiocesano de Ouro Branco), Técnico em Manutenção Mecânica (CNEC) e atualmente, cursando fluência em inglês pela Fluency Academy. Experiência profissional de 06 anos no ramo Siderúrgico, especificamente em Aciaria, na qual exerce até o momento.

Arthur Júnior Silva Cordeiro - Engenheiro Mecânico

Sou Bacharel em Engenharia Mecânica pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete e Técnico em Mecânica pela Escola Politécnica de Minas Gerais. Possui 09 anos de experiência na área de manutenção industrial. Têm sólidos conhecimentos em processos de manutenção preventiva e corretiva, gestão de equipes, análise de falhas, elaboração de planos de manutenção, além de experiência em liderança de projetos de melhoria contínua e otimização de processos produtivos. Graças a uma boa graduação hoje tenho a oportunidade de trabalhar na maior mineradora de ferro do mundo.

Bruno Luís Damas – Engenheiro Mecânico

Bacharel em Engenharia Mecânica pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Pós Graduado em Engenharia de Confiabilidade e Gestão de Ativos pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais-Puc Minas e Técnico em Manutenção Mecânica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Congonhas-IFMG. Tem experiência profissional de 15 anos na área de Manutenção de Equipamentos Móveis de Mina e Experiência Profissional de 1 ano como Consultor Técnico de Motores Cummins no setor de engenharia de suporte ao produto Cummins.

Caio Lucas de Melo Aliane – Engenheiro Mecânico

Bacharel em Engenharia Mecânica pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. Cursando Especialização em Engenharia de manutenção e confiabilidade pela Uninter. Experiência profissional de 04 anos no ramo de manutenção de equipamentos, caldeiraria, usinagem e planejamento de manutenções. Atualmente trabalhando como Analista de planejamento pleno no ramo de mineração.

Davidson Tadeu dos Santos – Engenheiro de Produção

Bacharel em Engenharia de Produção pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Técnico em Informática (ESTEC - Escola Técnica da Saúde) e atualmente, cursando Business Inteligente & Analíticas na Escola de Negócios - Conquer. Experiência profissional de 8 anos no ramo de Ferrovia no processo de manutenção na qual se mantem até momento.

Edgar Félix de Azevedo Santos – Engenheiro Mecânico

Bacharel em Engenharia Mecânica pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete e Técnico em Eletrônica pela Escola Técnica Municipal - “Os Padres do Trabalho”. Tem experiência profissional de 9 anos como Técnico de Laboratório de Engenharia. Atualmente é professor da Escola Técnica ESTEC nos cursos de Eletrotécnica com Ênfase em Automação e Eletromecânica Industrial e exerce a função de Técnico de Manutenção na área siderúrgica.

Julio Cesar de Paiva Domiciano - Engenheiro de Produção

Bacharel em Engenharia de Produção pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Técnico em Mineração pelo Colégio Potência. Experiência profissional de 12 anos no ramo de Mineração, gestão da qualidade dos processos e indicadores de desempenho, responsável pelo sistema integrado, Opex e Capex ,na qual se mantem até momento.

Vinícius Cruz Benjamin – Engenheiro de Produção

Bacharel em Engenharia de Produção pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. Tem experiência profissional de 6 anos na área da informática e de 3 anos como inspetor no setor petrolífero.

Matheus Flávio Andrade – Engenheiro de Produção

Bacharel em Engenharia de Produção pela Fundação Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete e Técnico em Segurança no Trabalho (Colégio Técnico Gomide). Atualmente, cursando Especialização em Engenharia de Segurança no Trabalho na faculdade Estácio. Experiência profissional de 12 anos no ramo de Mineração e processo Siderúrgico na área de Segurança no Trabalho na qual se mantem até momento.

Autores Docentes

Jussara Fernandes Leite

Mestre em Administração pela Faculdade de Pedro Leopoldo, Bacharel em Administração de Empresa pela Faculdade de Administração de Curvelo, Licenciada em Matemática pelo Centro Universitário Claretiano de Batatais e Bacharel Engenharia de Produção pela Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barão de Cocais. Atualmente, é Coordenadora do Curso de Engenharia de Produção, Professora dos Cursos de Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Direito e Administração, Professora do Curso de Pós Graduação de Gestão da Manutenção Industrial e Mineração da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete (MG) e Professora do Curso de Engenharia de Produção da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barão de Cocais. Tem experiência profissional de 12 anos em empresas da área de reflorestamento e carvão vegetal, e de mineração; e possui mais de 17 anos de experiência na área de educação.

Luciano José Vieira Franco

Mestre em Educação e Sociedade pela Universidade Presidente Antônio Carlos. Graduado em Engenharia de Operação Mecânica pela Universidade Federal de São João Del-Rei, graduado em engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela FUMEC/FUNDACENTRO, Pós-graduado em Engenharia Econômica pela Fundação Don Cabral, Pós-graduado em Higiene Ocupacional pela Faculdade de Ciências Medicas BH. Atualmente é coordenador do Curso de Pós Graduação de Gestão da Manutenção Industrial e Mineração, coordenador e professor dos cursos de Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, Coordenador e professor do curso de Engenharia de Produção da

Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barão de Cocais e consultor e prestador de serviços de empresas da área de mineração, transporte e indústria.

Bruno Silva Alencar

Mestre em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas pela IETEC- Instituto de Educação Tecnológica. Licenciatura em Matemática, pela UNIFRAN, Pós graduado em Gestão de Projetos pela FEAD, graduado em Engenharia de Produção pela FUPAC- Fundação Presidente Antônio Carlos, Técnico em Eletrotécnica pela Escola Municipal "Os Padres do Trabalho". Atualmente é empresário da empresa Alencar e Filhos Ltda e professor na FUPAC- Fundação Presidente Antônio Carlos.

Fernando de Sousa Santana

Doutor em Educação, Mestre em Administração pela Universidade de Santo Amaro, Graduado em Administração, Ciências Contábeis, Pedagogia e Filosofia. Atua como Contador/Administrador/Consultor Tributário e Corretor de Seguros da Sant'ana Consultoria e Assessoria Contábil, prestando atendimento a diversas empresas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Especialista em Gestão Empresarial, Gestão de Recursos Humanos, Segurança do Trabalho, Docência do Ensino Superior, Metodologias Ativas de Aprendizagem e Planejamento Educacional, atua no ensino superior desde 2006, quando assumiu como Professor e Coordenador do Curso de Administração na Fundação Presidente Antônio Carlos, lecionando desde então nas unidades sediadas em Abre Campo, Raul Soares e Ponte Nova Atualmente além de atuar como contador, administrador, corretor de seguros e como professor do Ensino Superior, atua ainda como Pró-Reitor do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos.

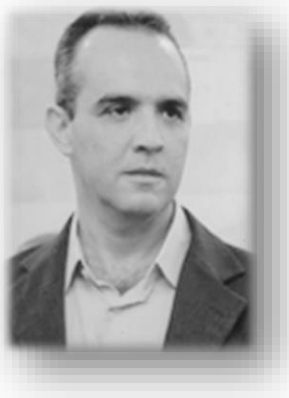
Grace Marisa Miranda de Paula

Mestre em Educação pela UNINCOR – campus Betim; Pós-graduada em Docência Superior pela Faculdades Integradas Simonsen–RJ; Licenciatura Plena em Matemática pela UNINCOR; Graduada em Ciências Físicas e Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Atualmente é professora de Matemática no Colégio Municipal João XXIII em Ouro Branco MG e professora de Cálculo Diferencial e Integral para o curso de Engenharias e Estatística para os cursos de Administração e Medicina Veterinária da Fundação Presidente Antônio Carlos em Conselheiro Lafaiete.

José Dimas de Arruda

Mestre em Engenharia de Materiais pela REDEMAT; Graduado em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Ouro Preto; Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Ouro Preto. Atualmente é professor da Faculdade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC – no Campus de Conselheiro Lafaiete, na graduação de Engenharia Mecânica e outras Engenharias. Leciona as disciplinas de Físicas, Tecnologia de Materiais, Mecânica Geral e Resistência dos Materiais.

Luciano Rodrigues dos Anjos



Mestre em Educação e Sociedade pela Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações (2004). Pós-graduado em Educação - Docência Superior. Graduado em Matemática pela Fundação Educacional de Lavras. Possui 30 anos de experiência profissional no ensino fundamental e médio e 21 anos no ensino superior. Atualmente é professor dos cursos das Engenharias Mecânica, Elétrica e Civil, Controle Automação, Minas e Computação dos conteúdos: Cálculos, Equações Diferenciais, Cálculo Numérico e Estatística da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete (UNIPAC). Além de ser catedrático dos cursos de Engenharia Química e Elétrica do Centro de Ensino Superior de Conselheiro Lafaiete (CES). Também é docente efetivo de Matemática nos ensinos fundamental e médio na rede municipal e estadual em conselheiro Lafaiete-MG.

Mayara Rezende Carvalho

Mestre em Engenharia Química pela UFSJ; Graduada em Química Industrial pela Universidade Federal de Ouro Preto; Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal de São João del Rei; Graduada em Química Licenciatura pela Universidade Cruzeiro do Sul virtual; Pós-graduada em Direito Empresarial e Direito Público pela Faculdade Legale. Atuou como Professora substituta na Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, pelo Departamento de Engenharia Química. Atualmente é professora na Escola Técnica ESTEC, nos Cursos Técnicos de Radiologia Industrial, Mineração, Segurança do Trabalho e Análises Clínicas. Leciona as disciplinas de Física das Radiações I e II, Radioisótopos, Radiologia Industrial e Inglês Instrumental.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson